



Методика построения многоуровневой модели оценивания сложного объекта

© 2022, С.В. Микони

Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский Центр РАН,
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Сокращение размерности модели, отражающей десятки разнообразных свойств сложного объекта, решается разбиением их на группы обобщённых свойств. Вместо опытного или экспертного подхода к формированию обобщённых свойств применён системный подход к формированию свойств верхнего уровня общности. Сущность подхода заключается в применении принципа проявления свойств объекта и его частей во взаимодействии с внешней средой. Предлагаемый способ выделения совокупности общих свойств сложного объекта применим не только к объектам разного назначения, но и разной природы (искусственной и естественной), что позволяет применять его к человеко-машинной системе. Для связывания свойств различных уровней общности применяется логико-лингвистический анализ понятий, соответствующих используемым показателям. Лингвистический анализ заключается в извлечении существенных признаков из определений понятий, а логический анализ – в определении родовидовой связи между существенными признаками сопоставляемых показателей. Предложенная методика демонстрируется на примере построения структуры показателей привязной высотной платформы на базе мультикоптера. Отмечается возможность получения частичных оценок платформы в отсутствие полноты характеризующих их показателей.

Ключевые слова: сложный объект, технический уровень, многоуровневая модель оценивания, системный анализ, логико-лингвистический анализ, структурирование показателей.

Цитирование: Микони С.В. Методика построения многоуровневой модели оценивания сложного объекта // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №3(45). С.380-392. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-3-380-392.

Финансирование: исследования проводились в рамках бюджетной темы FFZF–2022–0004.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Оценивание технического уровня и качества изделий промышленности актуально на любой стадии их жизненного цикла – от зарождения облика до снятия с эксплуатации [1, 2]. Всесторонний взгляд на изделие означает его оценивание по нескольким свойствам, и чем объект сложнее, тем больше свойств подлежит оцениванию. Характерной особенностью современных сложных объектов (СЛО) является встроенная в них система управления. В настоящее время СЛО с встроенным управлением называют киберфизическими системами (КФС) [3], а системы, в контур управления которых включён оператор, – социо-киберфизическими системами (СКФС) [4]. СКФС называют также человеко-машинными (эргатическими) системами [5], реализующими принцип дополнительности формального и «живого» знания в управлении [6].

Учёт разнородности оцениваемых свойств СЛО достигается разбиением их по группам. Например, в оценке экономики страны для группирования различных показателей деятельности используются общероссийские классификаторы разного назначения. В технических приложениях используются различные подходы к систематизации показателей, характери-

зующих СлО. В работе [7] предлагается подход, использующий экспертные оценки; общие свойства транспортной системы (ТС) с позиций интереса участников её жизненного цикла рассматривались в [8]. Предложенные в этой работе свойства верхнего уровня были сопоставлены со свойствами, используемыми на практике, на примере структур показателей грузового автомобиля.

Различие структур показателей оцениваемого объекта влечёт различные средневзвешенные оценки. Степень доверия к этим оценкам зависит от обоснованности соответствующих структур. Актуальной является задача обоснования правомерности предлагаемой иерархической системы показателей СлО. На практике зачастую приходится решать задачу частичного оценивания СлО, когда известны значения лишь части показателей, либо лишь часть из них представляет интерес. В любом случае необходимо решать задачу их общности и принадлежности показателю большей общности – обобщённому или составному показателю. Решению этой задачи посвящена настоящая работа.

1 Общие свойства сложных объектов

Для решения поставленной задачи представляют интерес, прежде всего, наиболее общие свойства СлО. На рисунке 1 они отмечены пунктирным крестом. Каждое свойство проявляется во взаимодействии с другими объектами или частями СлО.

1.1 Взаимодействие с объектом воздействия

Ключевым свойством любого объекта, определяющего взаимодействие с другими объектами, является его *назначение*. Оно характеризует потребительские свойства объекта, его роль (миссию) среди других объектов. Это касается систем как естественного, так и искусственного происхождения. Мобильный телефон – это, прежде всего, средство связи, автомобиль – это транспортное средство и т.п.

Назначение объекта характеризуется его *функциональностью* и *оперативностью*. Функциональность представляется набором реализуемых объектом функций. Здесь под функцией понимается возможность осуществить требуемое действие (операцию).

Универсальной функциональностью потенциально обладает только человек. Специализация человека осуществляется в процессе профессионального обучения. Техническая система специализируется на стадии замысла. Примером специализации являются ТС. Их назначением - *перемещение некоторого объекта на заданное расстояние*. Объектами перемещения являются вещество, энергия или информация. По отношению к объектам перемещения разновидностями ТС являются вещественная или транспортная (транспортировка людей и грузов), *энергетическая* и *информационная* система.

Оперативность отражает выполнение функций объектом во времени и характеризует динамические свойства системы, измеряемые временными параметрами.

1.2 Взаимодействие с оператором

С позиции СКФС оператор (пользователь) является её частью. Все свойства системы обеспечиваются её устройством. Устройство киберфизической части системы состоит из трёх составляющих: вещественной, энергетической и информационной. Вещественная составляющая представляет собой носитель процессов и характеризуется *конструкцией* (архитектурой). Энергетическая составляющая активизирует процессы, осуществляемые физическими сигналами. Информационная составляющая реализуется посредством языка, кодирующего сигналы. Такая трактовка устройства применима и к человеку-оператору.



Рисунок 1 - Основные свойства оцениваемого объекта

Устройство системы, как общее понятие, трактуется по-своему в каждой предметной области. Например, спортивный врач под внешним устройством человека понимает его телосложение, особенности которого существенны для спортивной ориентации человека; в строительстве и программировании внешнее устройство системы называют *архитектурой*; в приборостроении – *конструкцией* прибора и т.д. Внутреннее устройство систем различного назначения ещё более разнообразно.

От оператора к технической (киберфизической) части системы предъявляются требования *безопасности*, *эргономичности* и *эстетичности*. Безопасность характеризует степень защищённости человека в обращении с технической частью системы. Например, для обеспечения безопасности пассажиров на случай аварии в автомобиле предусмотрены ремни и подушки безопасности; функциональная безопасность программного обеспечения связана с причинением ущерба человеку при его отказе [9] и т.п.

Эргономичность подразумевает удобство управления и пользования объектом и достигается за счёт дополнительных функций системы. Например, для облегчения управления ТС в него включаются средства искусственного интеллекта. Эстетичность отражает гармонию содержания и формы системы, улучшает психологическое состояние человека.

1.3 Влияние внутренней и внешней среды

В условиях изменения внутренней и внешней среды важными свойствами объекта, которые обеспечивают его равновесие со средой, являются *стабильность* и *развиваемость*.

Стабильность здесь означает сохранение основных функций объекта при изменении состояния внутренней и внешней среды. Стабильность характеризуется такими свойствами объекта, как *устойчивость*, *надёжность* и *живучесть*.

Под *устойчивостью системы* здесь понимается её *способность выполнять свои функции в условиях допустимых возмущающих воздействий внутренней и внешней среды*. По средствам обеспечения следует различать пассивную и активную устойчивость. Под пассивной устойчивостью (в медицине – резистентностью) понимают естественную сопротивляемость объекта (в медицине – субъекта) внутренним и внешним воздействиям. Для обеспечения активной устойчивости востребованы функции управления, обеспечивающие способность системы возвращаться в равновесное состояние при выводе из него внешними воздействиями (гомеостазис). В технике этот вид управления называют автоматическим регулированием. К различным видам устойчивости относятся также *помехоустойчивость*, *отказоустойчивость*.

Надёжность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования [10]. Способность объекта выполнять требуемые функции определяется нахождением значений всех контролируемых параметров в установленных пределах. Основной причиной ухудшения надёжности является старение объекта.

Надёжность восстанавливаемых объектов измеряется средней частотой и продолжительностью простоя или средним временем восстановления. Уровень надёжности определяет способ обслуживания объекта. Чем более надёжно изделие, тем больше срок гарантийного обслуживания, тем меньше средств уходит на поддержание его в рабочем состоянии. Надёжность объекта характеризуется также его *долговечностью*, *сохраняемостью*, *ремонтпригодностью*.

Живучесть – это способность объекта выполнять свои функции, несмотря на полученные *повреждения*. Живучесть можно рассматривать как частичную устойчивость в части сохранения важнейших функций объекта. Это свойство объекта характеризует его способность сохранять реализуемые им функции при повреждающих воздействиях внешней среды.

Развиваемость является антиподом стабильности, поскольку влечёт изменение свойств объекта в условиях существенного изменения внутренней и внешней среды. Это свойство позволяет продлить существование системы в быстро меняющемся мире, отражая её способность к развитию и саморазвитию. Средствами развития СЛО являются его *обучение*, способность *предвидения* будущего и *выбора* пути достижения цели. Этими свойствами наделяются СЛО с применением, в том числе, методов и средств искусственного интеллекта. Обладая информацией о вариантах своего будущего состояния и их последствиях, объект получает возможность выбора наиболее приемлемого из них. Развиваемость присуща автономным СЛО. *Автономность* объекта подразумевает самостоятельность его взаимодействия с внешней средой, реализуемого через принятие решения об изменении поведения при изменении состояния внешней среды.

1.4 Взаимодействие с внешней средой

Взаимодействие с внешней средой реализуется через *потребление* её ресурсов и *отправление* в неё отходов своей деятельности (загрязнение). Объём потребления ресурсов характе-

ризуется *ресурсоёмкостью* объекта. В общей трактовке – это совокупность свойств объекта, характеризующая объёмы используемых для его функционирования ресурсов и продолжительность их использования. Различают следующие виды ресурсов: вещественные, энергетические, информационные, временные, человеческие, финансовые. Объём потребления ресурса измеряется соответственно в массо-габаритных единицах, киловатт-часах, битах и байтах, единицах времени, человеко-часах, в денежных единицах. Важнейшим из видов ресурсов является энергия, потребляемая напрямую или преобразуемая из топлива.

Объём отходов от деятельности системы, загрязняющих *землю, воду и воздух* характеризует экологичность системы.

1.5 Свойства СлО как объекта и субъекта управления

Как объект управления СлО характеризуется *управляемостью и наблюдаемостью*. Управляемость определяется, как потенциальная *возможность перевести систему из текущего состояния в заданное состояние*.

Наблюдаемость в теории управления – это свойство системы, показывающее, *можно ли по выходным данным полностью восстановить информацию о состоянии системы*. На практике наблюдаемость позволяет своевременно обнаруживать отклонения режима функционирования объекта, в т.ч. опасные, анализировать развитие аварийных процессов и характеризовать ситуацию в районе аварии.

В роли субъекта управления оцениваемый СлО может осуществлять управление разного уровня сложности и отвечать различными типами поведения: рефлексивно, адаптивно, целеустремлённо и прагматично [11].

Рефлексивное поведение здесь рассматривается как аналог действия подсознания. В дискретном случае реализуется базой знаний (БЗ) продукционного типа. В непрерывном случае рассматривается как автоматическое регулирование в управлении. Рефлексивное поведение реализуется в бесконфликтной среде в отсутствие претендентов на ресурсы.

Адаптивное поведение, приспособительное к окружающей среде, подобно сознательному действию. С точки зрения текущей ситуации – это ситуативное управление. Управляющее воздействие выбирается с учётом состояния окружающей среды, что требует представления её свойств в БЗ. В непрерывном случае изменяются уставки либо меняется структура управления. Такое поведение реализуемо в конфликтной среде при наличии претендентов на ресурсы.

Целеустремлённое поведение характеризуется выбором путей, методов и средств достижения цели. В простейшем случае это метод проб и ошибок с пометкой шагов в лабиринте. Он представляет собой последовательный выбор шагов в направлении поставленной цели.

Прагматичное поведение характеризуется выбором путей достижения цели с учётом *затрат ресурсов* (многомерное оценивание вариантов достижения цели). Применяется при оптимизации расхода ограниченных ресурсов для достижения цели.

Все типы поведения могут совершенствоваться на основе обучения и формирования предсказательных способностей.

1.6 Взаимодействие с изготовителем

Это взаимодействие выражается через технологичность оцениваемого СлО. *Технологичность* – это одна из характеристик изделия, которая выражает его приспособленность к производству (производственная технологичность), эксплуатации (эксплуатационная технологичность) и ремонту (ремонтная технологичность). Это свойство характеризует эффективность процессов изготовления, обслуживания и утилизации объекта и формируется

его проектировщиком. Процесс утилизации объекта инициируется субъектом управления. Технологичность технических изделий конкретизируется свойствами патентной защищённости, стандартизации, унификации и пр.

1.7 Взаимодействие с потребителем

Потребительские свойства выражаются через значения первичных показателей СЛО. Свойства готового объекта имеют экономический эквивалент. Через него и реализуются отношения владельца объекта (изготовителя, продавца) и его потребителя (покупка, аренда). К экономической категории относятся, прежде всего, себестоимость и рыночная стоимость объекта.

Себестоимость. Это свойство системы формируется экономистом, характеризуя ресурсы, в том числе и человеческие, затраченные на создание системы, и отражает экономическую эффективность деятельности предприятия.

Рыночная стоимость отражает потребительские свойства системы в сравнении с системами аналогичного назначения и определяется оценщиком. Она включает себестоимость объекта, наценки и расходы на обслуживание, характеризуя качество и технический уровень объекта только опосредованно, поскольку оценивает не конкретные свойства объекта, а отношение к ним через стоимостные показатели. Это отношение ситуативно, поскольку зависит от многих факторов, специфических для страны, организации-разработчика объекта и его востребованности [12].

1.8 Собственные свойства объекта

Из рассмотренных свойств к ним относятся (см. рисунок 1): *назначение* объекта, его *устройство*, *стабильность* и *развиваемость*, *ресурсоёмкость* и *экологичность*, *управляемость* и *сложность управления*. В СКФС этими свойствами характеризуется не только её киберфизическая подсистема, но и взаимодействующий с ней оператор-пользователь. Общие свойства поэтапно детализируются на более конкретные вплоть до элементарных свойств, измеряемых физическими величинами. Результатом такой детализации является многоуровневая (иерархическая) система показателей. Производственные и экономические свойства оцениваемого объекта отражают интерес таких субъектов экономики, как его *изготовитель* и *потребитель*.

2 Связывание показателей различных уровней общности

Построение многоуровневой системы показателей, характеризующей свойства СЛО на разных уровнях их детализации, заключается в связывании обобщённых и единичных измеряемых показателей. Поскольку показатели именуются словами естественного языка (ЕЯ), их связывание осуществляется с применением логико-лингвистических моделей [13].

Понятие, выражаемое показателем A , характеризуется содержанием C_A и объёмом V_A :

$$C_A = \{C_1, \dots, C_j, \dots, C_k\}, V_A = \{a_i \mid \forall C_j \in C_A\}.$$

Содержание понятия C_A задаётся перечислением k существенных признаков C_j , которыми обладают предметы, входящие в понятие A .

Объём понятия V_A задаётся описанием условий, которым удовлетворяют предметы, входящие в понятие A . Этот способ описания позволяет избежать проблем, связанных с представлением большого количества предметов – в ряде случаев счётного множества. Объём понятия V_A в общем случае представляет собой класс, поскольку не всегда можно определить принадлежность элемента понятию A .

Теоретико-множественное представление понятий позволяет формализовать отношения между ними. Из содержательного и объёмного представления понятий для этой цели наиболее приемлемым является первое, поскольку множество существенных признаков (СП) перечислимо и имеет небольшую мощность. Необходимым условием родства двух понятий A и B является непустое пересечение СП двух понятий:

$$C(A) \cap C(B) \neq \emptyset. \quad (1)$$

Пример. Понятия «табурет» и «стул» можно характеризовать следующими СП:

Табурет = {Приспособление для фиксации сидячей позы, Плоская поверхность, Ножки}.

Стул = {Приспособление для фиксации сидячей позы, Плоская поверхность, Ножки, Спинка}.

Эти понятия родственны по первым трём СП: $C(\text{табурет}) \cap C(\text{стул}) = \{\text{Приспособление для фиксации сидячей позы, Плоская поверхность, Ножки}\}$. Стул отличается от табурета видовым отличием «спинка»: $C(\text{стул}) \setminus C(\text{табурет}) = \text{Спинка}$. Таким образом, стул наследует все признаки, присущие табурету и, следовательно, является видовым понятием по отношению к родовому понятию «табурет». Эта родо-видовая связь моделирует отношение «общее-частное», если условие (1) дополняется условием (2):

$$C(A) \subset C(B). \quad (2)$$

В примере A = табурет, а B = стул. В отсутствие условия (2) имеет место слабое родство понятий, принадлежащих разным категориям предметов. Примером слабого родства является наличие ножек у табурета и у паука. Такое родство понятий используется в метафорах и аналогиях.

При перечислительном определении термина существенные признаки выражаются в явном виде. В более общем случае они извлекаются из определения понятия. Извлечение существенных признаков из определений понятий с применением «семантических актантов», введённых Л. Теньером [14], рассматривалось в [15].

Выполнение условий (1) и (2) на практике затрудняется из-за наличия разных определений одного и того же понятия и синонимии слов. Для приведения разных определений к общему смыслу используется переход к универсальным языкам изображений (образное мышление) и формул (знаковое мышление). Проблема синонимии решается с применением словарей синонимов и применением принципа наименьшего общего знаменателя обыкновенных дробей. Таким знаменателем является существенный признак, отражающий назначение понятия. Этот процесс можно назвать нормализацией СП. В примере с табуретом и стулом им является СП «приспособление для фиксации сидячей позы». Общность этого СП позволяет связать понятия соседних уровней общности – «табурет» и «стул».

На основе выполненного анализа предлагается следующая методика связывания понятий, относящихся к соседним уровням общности.

Понятия верхнего уровня заданы перечнем обобщённых $G = \{G_1, \dots, G_i, \dots, G_n\}$, а понятия нижнего уровня – перечнем частных $P = \{P_1, \dots, P_j, \dots, P_N\}$ показателей. Требуется найти связи между показателями верхнего и нижнего уровней как отношение цель-средство:

$$R = \{(G_i, P_j): C(G_i) \cap C(P_j) \neq \emptyset, \ i = \overline{1, n}, \ j = \overline{1, N}\}.$$

Условием $C(G_i) \cap C(P_j) \neq \emptyset$ является совпадение частной цели G_{il} обобщённого показателя G_i с одной из целей P_{jm} частного показателя P_j : $G_{il} = P_{jm}$.

Процесс решения делится на три этапа, из них первые два – подготовительные.

Этап I. Формирование содержаний обобщающих показателей

1) Выполняется поиск в Интернете определений $D(G_i) = \{D_1(G_i), \dots, D_r(G_i), \dots, D_k(G_i)\}$ понятия G_i , $i = \overline{1, n}$, $k > 1$.

2) Из определения $D_r(G_i)$, $r = \overline{1, k}$, i -го понятия формируется его содержание $C_r(G_i)$.

- 3) Находятся общие СП понятия G_i , извлечённые из разных определений: $\bigcap_{r=1}^k C_r(Q_i)$.
- 4) Если $\bigcap_{r=1}^k C_r(Q_i) = \emptyset$, то выполняется нормализация СП $G_{irl} \in C_r(G_i)$, $r = \overline{1, k}$, для чего осуществляется поиск синонимов и антонимов СП. Общеупотребительные синонимы и антонимы имеются в готовых лингвистических библиотеках, а специальные берутся из базы данных эксперта.
- 5) Если СП не могут быть выражены одинаковыми словами, осуществляется поиск более общих понятий. Например, слова *уйти* и *убежать* обобщаются словом *удалиться* (соответственно медленно или быстро).
- 6) По результатам сопоставления содержаний $C_r(G_i)$, $r = \overline{1, k}$, i -го понятия формируется обобщённое содержание $C(G_i)$, $i = \overline{1, n}$.

Этап II. *Формирование содержаний частных показателей*

Выполняются все шаги этапа I применительно к частным показателям P_j , $j = \overline{1, N}$.

Этап III. *Установление связи между частными и обобщёнными показателями*

- 1) Начальные условия: $j=1$, $i=1$.
- 2) Выбрать j -й частный показатель с содержанием $C(P_j) = \{P_1, \dots, P_j, \dots, P_N\}$.
- 3) Найти признак назначения $P_{jn} \in C(P_j)$, отвечающий на вопрос «Для чего?» («Зачем?»).
- 4) Выбрать i -й обобщённый показатель G_i .
- 5) Найти пересечение признака назначения $P_{jn} \in P_j$ с $C(G_i)$.
- 6) Если $P_{jn} \cap C(G_i) \neq \emptyset$, то установлена связь «цель-средство» (G_i, P_j) между j -м частным показателем и i -м обобщённым показателем, иначе идти к 8.
- 7) Если $j < N$, $j := j + 1$, идти к 2, иначе конец.
- 8) Если $i < n$, $i := i + 1$, идти к 4.

Если $C(G_i) \cap C(P_j) = \emptyset$ при перечислении всех n обобщённых показателей, $i = \overline{1, n}$, j -й показатель не вписывается в иерархию показателей, что требует выяснения причин.

Очевидно, что достоверность установленной связи между понятиями зависит от достоверности использованных СП. При извлечении СП из определений понятий их достоверность зависит от качества определений.

На структурирование показателей СлО на верхних уровнях иерархии влияют особенности его оценивания. С точки зрения эффективности функционирования СлО показатели делятся на целевые и ресурсные. Первые обеспечивают функциональность, стабильность и развиваемость СлО. Они подлежат максимизации. Вторые отражают ресурсы, затрачиваемые на реализацию указанных свойств. Они подлежат минимизации. Особняком выделяются классификационные и стоимостные показатели. Первые обеспечивают сопоставимость объектов в рамках выделенных классов. Вторые отражают себестоимость СлО и спрос на него. Указанные особенности структурирования показателей СлО рассмотрены на примере.

3 Пример проектирования многоуровневой системы показателей

На этапе проектирования облика объекта выбирается его предпочтительный вариант. Исходными вариантами могут быть планируемые или уже существующие объекты. Можно поставить задачу выбора предпочтительного варианта на примере имеющихся образцов привязных высотных платформ (ПВП). ПВП представлены пятью экземплярами и характеризу-

ются девятью показателями с известными значениями (см. таблицу 1). Из пяти ПВП, подлежащих оцениванию, первые четыре изготавливаются в Китае, а пятый – в России.

В [16] назначение ПВП определено как «длительное *зависание* на определённой высоте для выполнения многоцелевых задач (наблюдения, связи и т.п.)». Все слова этого определения поясняют семантический акт «зависание», характеризующий действие ПВП. Длительное *зависание* на определённой высоте характеризуется двумя показателями из таблицы 1 – максимальной высотой подъёма и временем полёта (длительностью зависания). Выполнение многоцелевых задач осуществляется приборами наблюдения, связи и т.п., охарактеризованными в таблице 1 показателем «Макс. масса полезной нагрузки, кг». Таким образом, эти три показателя отражают назначение ПВП.

Таблица 1 – Характеристики ПВП

ПВП	Макс. высота подъёма, м	Время полёта, ч	Макс. допустим. скорость ветра, м/с	Макс. взлётная масса, кг	Макс. масса полезной нагрузки, кг	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Стоимость, млн. руб
Matrice 300	75	8	15	9,00	2,7	0,810	0,670	0,430	0,869
Matrice 200/21	75	6	12	6,14	1,5	0,887	0,880	0,378	0,432
Matrice 600	100	5	8	15,50	6,0	0,720	0,800	0,360	0,392
Phantom 4/4 PRO	60	2,5	10	1,39	0,3	0,247	0,247	0,196	0,105
Геоскан 401	100	72	10	9,50	2,0	1,560	1,560	0,560	1,650

Слово «зависание» имеет смысл состояния покоя. Это состояние нарушается воздействиями атмосферы (ветер, давление, температура). Одно из этих воздействий в таблице 1 измерено показателем «Макс. допустим. скорость ветра, м/с». Он характеризует *устойчивость* ПВП по отношению к силе ветра.

Взлётная масса выполняет функцию классификационного показателя, который обобщённо характеризует класс летательных аппаратов. Их сопоставимость обеспечивается только в пределах одного класса. Этот показатель важен также для определения относительной массы полезной нагрузки, характеризующей ресурсные возможности летательного аппарата.

Термин «ресурсы» отражает средства, затрачиваемые на реализацию целевых свойств ПВП. В этом смысле к ресурсным показателям следует отнести габаритные характеристики летательного аппарата (длину, ширину, высоту). Они обеспечивают заданные лётные качества ПВП. В модель оценивания объектов должны вноситься только независимые показатели. Показатели «Длина» и «Ширина» платформы могут быть заменены вычисляемым показателем «Диагональ».

Таким образом, многоуровневая модель оценивания ПВП представляется тремя показателями назначения, одним показателем устойчивости и тремя показателями ресурсоёмкости. Стоимость ПВП, как экономический показатель, выделяется в отдельную группу. Стоимость в рассматриваемом примере охватывает не все свойства ПВП. В частности, в таблице 1 отсутствуют показатели, характеризующие стартовую платформу. Стоимость ПВП можно использовать либо в качестве ограничения, либо как частную цель в некоторой пропорции к общей характеристике СЛО. Четырёхуровневая структура рассмотренных показателей представлена на рисунке 2.

На основе предложенной структуры и значений показателей могут быть вычислены частные средневзвешенные оценки ПВП. Для получения общих оценок список и структура показателей должны быть дополнены показателями, охватывающими все свойства ПВП.

Полнотой элементарных показателей обладает составной показатель «Назначение ПВП». Это означает возможность адекватного сопоставления ПВП по этому показателю при условии сопоставимости значений элементарных показателей. Условию сопоставимости значений элементарных показателей не отвечает ПВП *Phantom 4/4 PRO* по показателю «Время полёта» (более чем в 2 раза уступает остальным ПВП) и ПВП *Matrice 600* – по показателю «Макс. масса полезной нагрузки» (более чем в 2 раза превышает остальные ПВП). Это означает, что указанные ПВП должны оцениваться в той же системе показателей, но в рамках других классов, различающихся шкалами показателей.

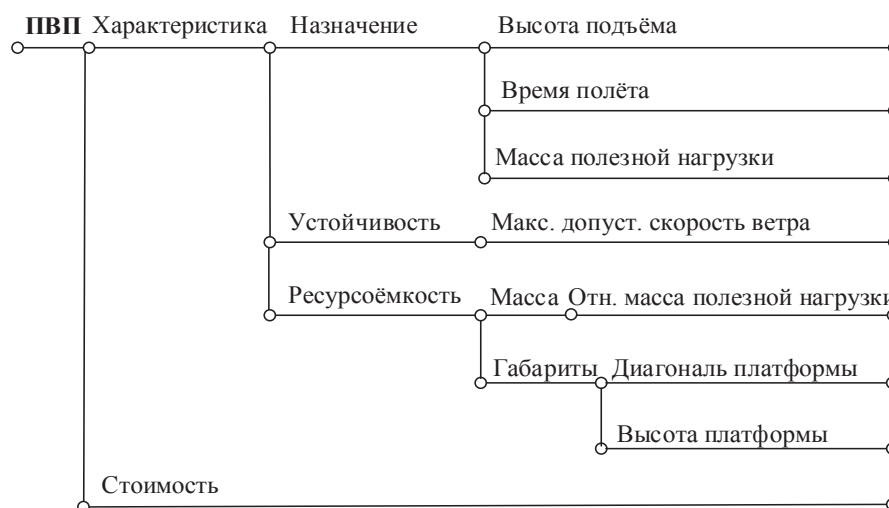


Рисунок 2 – Структура оцениваемых показателей ПВП

Заключение

Влияние структуры показателей сложного объекта на его средневзвешенную оценку требует исчерпывающего обоснования её достоверности. На основе системного подхода для оценивания СЛО предложена совокупность его свойств, применимых к объектам разного назначения, но и разной природы. Это позволяет с единых позиций анализировать свойства технической части СКФС и взаимодействующего с ней человека-оператора. Системный подход не исключает, но позволяет уменьшить влияние субъективного фактора при создании многоуровневой модели оценивания СЛО.

Наличие показателей, характеризующих общие свойства СЛО и известных первичных показателей конкретного объекта, обуславливает применение методики, которая связывает показатели разного уровня общности. В работе применена методика, основанная на логико-лингвистическом анализе соответствующих понятий. Родовидовая связь между родственными понятиями выявляется путём теоретико-множественных операций над СП, извлечёнными из определений понятий.

Предложенная методика опробована на примере построения многоуровневой структуры показателей на базе мультикоптера. В примере формальные операции над СП понятий заменены логическими суждениями. Показано, что в отсутствие полноты показателей может быть выполнена оценка ПВП по отдельным составным показателям.

Список источников

- [1] **Воронов Е.М., Щербинин В.В., Семенов С.С.** К оценке технического уровня сложных технических систем с учётом полного жизненного цикла. *Онтология проектирования*. 2016. Т.6, №2(20). С.173-192. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-173-192.
- [2] **Семенов С.С., Воронов Е.М., Полтавский А.В., Крянев А.В.** Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных систем. М.: ЛЕНАНД. 2015. 517 с.
- [3] **Suryanarayanan S., Roche R., Hansen T.M.** Cyber-Physical-Social Systems and Constructs in Electric Power Engineering. Publisher: The Institution of Engineering and Technology (October 5, 2016). 520 p.
- [4] **Lee E.A., Seshia S.A.** Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Systems Approach, Second Edition, MIT Press, 2017.
- [5] **Губинский А.И.** Надёжность и качество функционирования эргатических систем. Л.: Наука. 1982. 270 с.
- [6] **Виттих В.А.** Дополнительность системного и обыденного подходов к урегулированию проблемных ситуаций в повседневности // Труды XIX Международной конференции (12-15.09.2017, Самара, Россия) «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». Самара: ООО «Офорт». 2017. С.4-11.
- [7] **Семенов С.С.** Оценка качества и технического уровня сложных систем. Практика применения экспертных оценок. М.: ЛЕНАНД. 2015. 350 с.
- [8] **Микони С.В.** Формирование обобщённых показателей транспортной системы с позиций заинтересованных сторон. *Онтология проектирования*. 2018. Т.8, №2(28). С.296-304. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-296-304.
- [9] **Луцаев В.В.** Функциональная безопасность программных средств. М.: СИНТЕГ. 2004. 348 с.
- [10] ГОСТ Р 27.101-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Надёжность в технике. Надёжность выполнения задания и управление непрерывностью деятельности. Термины и определения. Дата введения 2022-01-01.
- [11] **Russell S.J., Norvig P.** Artificial Intelligence: A Modern Approach (2nd ed.). Upper Saddle River. 2003. New Jersey: Prentice Hall. Chapter 2. ISBN 0-13-790395-2.
- [12] **Mikoni S.V.** Application of the Universal Decision Support System SVIR to Solving Urban Problems. Springer International Publishing AG 2016. A.V. Chugunov et al. (Eds.): DTGS 2016, CCIS 674. 1–14.
- [13] **Поспелов Д.А.** Логико-лингвистические модели в системах управления. М.: Энергоатомиздат. 1981. 232 с.
- [14] **Теньер Л.** Основы структурного синтаксиса / Пер. с франц. Вступ. ст. и общ. ред. В.Г. Гака. М.: Прогресс. 1988. 656 с.
- [15] **Микони С.В.** Обобщённая онтологическая модель управления в концепции социо-киберфизической системы // *Онтология проектирования*. 2019. Т.9, №2(32). С.191-202. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-191-202.
- [16] **Микони С.В., Полтавский А.В., Семёнов С.С.** Привязные высотные платформы на базе мультикоптеров // *Боеприпасы*. 2022. № 1. С.20-47.

Сведения об авторе



Микони Станислав Витальевич, 1936 г. рождения. Окончил Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта им. Образцова в 1963 г., д.т.н. (1992), профессор (1994) ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН. Член Российской ассоциации искусственного интеллекта (1998). В списке публикаций 340 работ, из них 2 монографии и 7 учебных пособий в области технической диагностики, дискретной математики, системного анализа, теории принятия решений, искусственного интеллекта. AuthorID (РИНЦ): 100261; Author ID (Scopus): 57192370467; Researcher ID (WoS): W-3236-2019; <https://orcid.org/0000-0001-7153-6804>. smikoni@mail.ru.

Поступила в редакцию 17.06.2022, после рецензирования 23.08.2022. Принята к публикации 30.08.2022.



Methodology for creating a multilevel model for evaluating a complex object

© 2022, S.V. Mikoni

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences

St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Abstract

Reducing the dimension of a model that reflects dozens of various properties of a complex object is solved by dividing them into groups of generalized properties. Instead of an experienced or expert approach to the formation of generalized properties, a systematic approach to the formation of properties of the upper level of generality is applied. The essence of the approach lies in the application of the manifestation principle of object properties and its parts in interaction with the external environment. The proposed method for extracting a set of common properties of a complex object is applicable not only to objects of different purposes, but also of different nature (artificial and natural), which makes it possible to apply it to a human-machine system. To link properties of different levels of generality, a logical-linguistic analysis of concepts corresponding to the indicators used is applied. Linguistic analysis consists in extracting essential features from the definitions of concepts, and logical analysis - in determining the generic relationship between the essential features of the compared indicators. The proposed method is demonstrated on the example of creating a structure of indicators of a tethered high-altitude platform based on a multicopter. The possibility of obtaining partial estimates of platforms in the absence of completeness of indicators characterizing them is noted.

Key words: *complex object, technical level, multi-level assessment model, system analysis, logical-linguistic analysis, structuring of indicators.*

Citation: *Mikoni SV. Methodology for creating a multilevel model for evaluating a complex object [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(3): 380-392. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-3-380-392.*

Financial support: Research carried out on this topic was carried out under budget topic FFZF-2022-0004.

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

List of figures and table

Figure 1 - Main properties of the assessed object

Figure 2 - The structure of the estimated indicators of tethered high-altitude platforms

Table 1 - Characteristics of tethered high-altitude platforms

References

- [1] **Voronov EM, Shcherbinin VV, Semenov SS.** To an estimation of a technical level of complex technical systems in view of a full life cycle [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2016; 6(2): 173-192. DOI: 10.18287/2223-9537-2016-6-2-173-192.
- [2] **Semenov SS, Voronov EM, Poltavskij AV, Kryanev AV.** Decision-making methods in the tasks of assessing the quality and technical level of complex systems [In Russian]. Moscow: LENAND. 2015. 517 p.
- [3] **Suryanarayanan S, Roche R, Hansen TM.** Cyber-Physical-Social Systems and Constructs in Electric Power Engineering. Publisher: The Institution of Engineering and Technology (October 5, 2016). 520 p.
- [4] **Lee EA, Seshia SA.** Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Systems Approach, Second Edition, MIT Press, 2017.
- [5] **Gubinskii AI.** Reliability and quality of functioning of ergatic systems [In Russian]. Leningrad: Nauka. 1982. 270 p.

- [6] **Vittih VA.** Complementarity of systemic and everyday approaches to resolving problem situations in everyday life [In Russian]. Proceedings of the XIX International Conference (12-15.09.2017, Samara, Russia) "Problems of control and modeling in complex systems". Samara: ООО «Ofort». 2017. 4-11.
 - [7] **Semenov SS.** Assessment of the quality and technical level of complex systems. The practice of expert assessments applying. [In Russian]. Moscow: LENAND. 2015. 350 p.
 - [8] **Mikoni SV.** Formation of generalized indicators of the transport system from the positions of stakeholders. [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(2): 296-304. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-296-304.
 - [9] **Lipaev VV.** Functional safety of software [In Russian]. Moscow: SINTEG. 2004. 348 p.
 - [10] GOST 27.101-2021. Dependability in technics. Dependability of task performance and business continuity management. Terms and definitions [In Russian]. Effective date 01/01/2022.
 - [11] **Russell SJ, Norvig P.** Artificial Intelligence: A Modern Approach (2nd ed.). Upper Saddle River. 2003. New Jersey: Prentice Hall. Chapter 2. ISBN 0-13-790395-2.
 - [12] **Mikoni SV.** Application of the Universal Decision Support System SVIR to Solving Urban Problems. Springer International Publishing AG 2016. A.V. Chugunov et al. (Eds.): DTGS 2016, CCIS 674. 1–14.
 - [13] **Pospelov DA.** Logical-linguistic models in control systems [In Russian]. Moscow: Energoatomizdat. 1981. 232 p.
 - [14] **Tenier L.** Fundamentals of structural syntax [In Russian]. Trans. from French. Introd. general ed. V.G. Gaka. Moscow: Progress. 1988. 656 p.
 - [15] **Mikoni SV.** Generalized ontological model of control in the concept of a socio-cyberphysical system [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(2): 191-202. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-191-202.
 - [16] **Mikoni SV, Poltavskii AV, Semenov SS.** Tethered high-altitude platforms based on multicopters [In Russian]. *Ammunition*. 2022; 1: 20-47.
-

About the author

Stanislav Vitalievich Mikoni (b. 1936) graduated from the Obraztsov Institute of Engineers of Railway Transport (Leningrad) in 1963, D. Sc. Eng. (1992), Professor (1994). He is a member of the Russian Association of Artificial Intelligence (1998). He is the author and a co-author of 340 publications in the field of technical diagnostic, discrete mathematics, system analyses, artificial intelligence, and decision making theory. AuthorID (РИИЦ): 100261; Author ID (Scopus): 57192370467; Researcher ID (WoS): W-3236-2019; <https://orcid.org/0000-0001-7153-6804>. smikoni@mail.ru

Received June 17, 2022, Revised August 23, 2022. Accepted August 30, 2022.
