УДК 004.621.3

Е.В. Иванченко,
кандидат технических наук, профессор
В.А. Хорошко,
доктор технических наук, профессор

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

В рамках системного подхода системный анализ оценки эффективности функционирования систем технической защиты информации понимается как оценка и классификация сведений об исследуемой сложной технической системе, ее компонентах и условиях функционирования. Оценка может играть и самостоятельную роль. В других случаях цель системного анализа – подготовить почву для создания или выбора системы с нужными нам свойствами (системный анализ). Ведущей операцией при этом выступает принятие решений, т.е некоторый формальный или неформальный выбор, осуществляемый исследователем или техническим устройством на основе данных системного анализа и сведений о требуемых характеристиках выбираемой оптимизации.

Ключевые слова: *эффективность функционирования системы, нечеткие множества, многокритериальная задача, системный анализ.*

У рамках системного підходу системний аналіз оцінки ефективності функціонування систем технічного захисту інформації розуміється як оцінка і класифікація відомостей про досліджувану складну технічну систему, її компоненти та умови функціонування. Оцінка може відігравати і самостійну роль. В інших випадках мета системного аналізу – підготувати ґрунт для створення або вибору системи з потрібними нам властивостями (системний аналіз). Провідною операцією при цьому є прийняття рішень, тобто деякий, формальний або неформальний вибір, що здійснюється дослідником або технічним пристроєм на основі даних системного аналізу та відомостей про необхідні характеристики обраної оптимізації.

Ключові слова: *ефективність функціонування системи, нечіткі множини, багатокритеріальна задача, системний аналіз.*

System analysis and a multicriterion estimation of the effectiveness of functioning of the information protection system are carried out.

Keywords: *the effectiveness of functioning of system, fuzzy sets, multicriterion task, system analysis.*

Введение

В современных условиях с помощью системного подхода [1] исследуются сложные технические объекты и процессы. Дано S – мерный вектор критериев y и n – мерный вектор объектов оценки x. Требуется оценить системы (объекты) по совокупности критериев (анализ) и выбрать в анализе оптимальное решение x^*. Векторная оценка альтернатив и определения n - мерных решений $x = (x_i)_{i=1}^{n}$

из области X нескольких (s) критериях $y = \{y_k(x)\}_{k=1}^{s}$ относятся к числу трудноформируемых задач принятия решений. В этом случае искомое x^* по своей природе компромиссно. Поскольку компромисс – прерогатива исследователя, то многокритериальное решение полностью зависит от предпочтений лица, принимающего решения (ЛПР).

При формализации решения многокритериальных задач можно руководствоваться различными принципами. Однако общим недостатком методов Чернза-Купера, Technique for Preference bu Similarity to the Ideal Solution и др. представляется некоторая громоздкость и возможность нарушения ограничений. Этих недостатков лишен принцип "подальше от ограничений" [1] .

Использование данного принципа предполагает такой класс объектов оценки для критериев качества, в которых существуют естественные количественные ограничения. Для оценки иных объектов должны приниматься другие решения [2].

В процессе исследования многокритериальных задач ЛПР руководствуются свои набором индивидуальных предпочтений, который формально отражается некоторой функцией полезности (ценности) $Y(y)$ в критериальном пространстве [3] или схемой компромиссов, скалярной сверткой векторного критерия [1]. Возможны различные аппроксимации функции полезности. Наиболее распространен метод простого аддитивного взвешивания [4]. Аппроксимирующая зависимость $Y[\alpha, y(x)] = \sum_{k=1}^{S} \alpha_k^0 y_k(x),$ где α_k^0 – коэффициент регрессии, имеющий смысл частной производной критериальной функции по к-му критерию, вычисленной в базовой рабочей точке. Пользуясь этим выражением, всегда нужно помнить, что это лишь линейное приближение критериальной функции при ситуациях, отличающихся от базовой, они могут приводить к существенным искажениям, самое главное – линеаризация критериальной функции не позволяет решить многокритериальную задачу формально, без непосредственного участия ЛПР.

Целью работы будет выбор оптимального решения многокритериальной задачи с унификацией по статистике с применением принципа с априорными вероятностями и теорией нечетких множеств.

Основная часть

Поставим задачу алгоритмизации функции полезности ЛПР некоторой содержательности моделью по всей области определения в критериальном пространстве. Будем конструировать содержательную модель, исходя из принципа "подальше от ограничений" [1]. В соответствии с этим принципом решение максимизирует векторную разность $A-y$, где $A = \{A_k\}_{k-1}^{S}$ – вектор ограничений со штрафом за приближение к ограничениям.

Такой подход предполагает, что возводятся только количественные (и сводимые к ним) критерии. Действительно, часто качественные критерии, также убедительность аргументов и т.д. [2] естественных количественных ограничений не имеют, и следовательно к ним не применим принцип "подальше от ограничений".

Анализ показывает [1], что простой содержательной моделью функции полезности ЛПР при минимизируемых критериях в соответствии с концепцией нелинейной схемы компромиссов является выражение:

$$Y(\alpha, y_0) = \sum_{k=1}^{S} \alpha_k [A_k - y_k(x)]^{-1} \quad \text{или}$$

$$Y(\alpha, y_0) = \sum_{k=1}^{S} \alpha_k [1 - y_{0k}(x)]^{-1}.$$

Если критерии нормированы по формуле $y_0 = \frac{y}{A}$. Областью определения коэффициентов $\alpha \in G_x$ служит G_x:

$$G_x = \{\frac{\alpha}{\alpha_k} \geq 0, \sum_{k=1}^{S} \alpha_k = 1\}.$$

Здесь $\alpha_k = const$ − формальные параметры, имеющие двойной физический смысл. С одной стороны, это коэффициенты, выражающие предпочтения ЛПР по отдельным критерия. С другой стороны, это коэффициенты содержательной регрессионной модели, построенной на основе концепции нелинейной схемы компромиссов. Коэффициенты α можно определить, используя дуальный подход, описанный в [1].

Учитывая, что свертки по нелинейной схеме компромиссов представляются в аддитивной форме, предполагается, что критерии в достаточной степени независимы.

Адекватными методами исследования сложных процессов являются методы экспертных оценок. Это объясняется как трудностями формализации многокритериальных задач, так и принципиальной невозможностью формального безучастия исследователя, решения задачи заключаются в определенной размерности и качественного состава вектора критериев.

Сущность метода элементарных оценок заключается в том, что для оценки некоторой количественной характеристики используются постулаты не одного, а нескольких экспертов, компетентных в данном вопросе. Предполагается, что “истинное” значение неизвестной нам количественной характеристики находится внутри диапазона оценок экспертов и “обобщенное” коллективное мнение более достоверно.

Неизвестная количественная характеристика рассматривается как случайная величина, отражением закона распределения которой служит постулат эксперта. Для окончательной оценки высказывания всех экспертов изучаются в совокупности и обрабатываются как некий статистический материал с учетом концепций математической статистики.

Отметим, что часто на практике совокупность частных критериев задана, особенно если процесс наследуется по заранее установленной методике, традиционной для технологий данного класса. Чаще всего нельзя заранее определить, какие показатели процесса следует непременно включить в перечень критериев качества, а какие несущественные для решаемой задачи. Это характерно для вновь разрабатываемых проектов. Возникает проблема разботки общих методов, позволяющих обоснованно составлять необходимую и достаточную совокупность частных критериев качества.

При этом S критериев необходимо и достаточно в рамках конкретной многокритериальной задачи, если:

– использование любых дополнительных критериев или их сочетаний на изменения результатов решения задачи не влияют;

– отбрасывания хотя бы одного из выбранных критериев изменяет результаты решения задачи.

В настоящее время для определения размерности и качественного состава вектора критериев обычно применяются эвристические методы. В их основе лежит индивидуальное мнение (постулат) об оцениваемой величине, исходя из своего профессионального опыта. Основной недостаток постулирования – субъективность и возможность произвола. Процедура метода экспертных оценок позволяет уменьшить этот недостаток.

Разработка начинается с формирования группы организаторов экспертизы, в обязанности которых входят:

– подбор специалистов-экспертов;
– составление специальных опросных анкет;
– опрос;
– анализ и обработка информации; полученной от экспертов;
– определение размерности качественного состава вектора частных критериев;
– расчет аналитических оценок эффективности функционирования СТЗИ.

В роли экспертов должны выступать высококвалифицированные специалисты данной области примерно равной квалификации.

Их количество обычно обусловливается сложностью решаемой задачи. В практике экспертизы обычно используется до 21-го эксперта. На основе анализа функционирования СТЗИ организаторы экспертизы формируют предварительный список требований, предъявляемых к системе по некорректному направлению. По предложению организаторов требования структурируются по группам критериев:

– общие;
– оценки возможных рисков;
– технические характеристики;
– обеспечение заданной эффективности;
– финансово-экономические.

После консультации с экспертами организаторы экспертизы включают в каждую группу необходимые критерии. Первоначальный список частных критериев заведомо избыточен и выражает стремление не упускать существенных требований.

Для выявления действительно значимых частных критериев эксперты делают ординарные оценки критериев, представляющие собой целочисленные ранги, т.е номера критериев в ряде ранжирования. Предполагается изучить список и выбрать из него наиболее важные, по мнению экспертов, частные критерии, проранжировав их в порядке важности. Для получения коллективного мнения о наиболее важных критериях организаторы подсчитывают сумму за каждый критерий из первоначально списка.

Критерии, получившие наименьшую сумму рангов, выделяются в окончательный список. Количество выделенных критериев зависит от сложности задачи, но обычно их бывает от 3-х до 8-ми.

Увеличение числа критериев снижает надежность оценок экспертов при их оценке относительной важности. Кроме того, необходимо, чтобы разница между количеством голосов экспертов, относящихся к наименее важному из выделенных критериев и наиболее важному из отсеченных, была, возможно, большей.

Более обоснованным (но и более сложным) представляется метод индивидуальных ранжирований [5].

Выделение показателя представляет собой исходную совокупность частных критериев, из которых формируется векторный критерий качества оцениваемой системы. Осуществив ранжирования и обработав результаты, эксперты оставляют в списке S действительно значимых критериев. Определение их значений осуществляется в классе кардинальных экспертных оценок. В отличие от ординальных, они выражаются не целочисленными рангами, а действительными положительными числами.

Некоторые из критериев $y(x)$ выражаются в абсолютных величинах и могут вычисляться вообще без экспертов (например, технические характеристики или финансово-экономические).

Поскольку эти количественные критерии обычно взаимно отличаются как способами (часть из них подлежит минимизации, а остальные − максимизации), так и физической природой (имеют разную размерность), то целесообразно нормировать их с помощью монотонного Геймейера преобразования.

$$y_{ok}(x) = \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{y_k^{id} - y_k(x)}{y_k^{id} - y_{k\min}} \ \forall k \in K_1 \\ \dfrac{y_k(x) - y_k^{id}}{y_{k\max} - y_k^{id}} \ \forall k \in K_2 \end{array} \right\},$$

где K_1 и K_2 − соответственно множество максимальных и минимальных критериев, y_k^{id} − координаты идеальной (утопической) точки. Ясно, что $y_k^{id} = y_{\max}, k \in K_2$. Такая нормализация хороша тем, что независимо от способа экстеризации исходных критериев, все нормализованные критерии минимизируются и $y_{ok}(x) \in [0;1]$.

Качественные (но свободные и количественные) критерии обычно определяются экспертами оценками по шкале баллов. Экспертам (каждому отдельно) предоставляется анкета. В рубриках по группам перечисляются частные критерии, выделенные на предыдущем этапе. Критериям предоставляется непрерывная шкала, разделяемая на десять интервалов. Цифра 0 на шкале соответствует понятию “минимальной ценности”, а цифра 10 − “максимальной ценности”. Экспертов просят оценить относительное влияние каждого из частных критериев на общую ценность, а так же оценить в заданных условиях и приписать ему соответствующую точку на шкале. Разрешается выбирать точки между числами или приписывают несколько критериев одной точки на шкале.

Анализ процесса принятия решения показал, что при оценке процессов по шкале баллов эксперты руководствуется так называемой функциональной шкалой (см. табл. 1).

Таблица 1

Категории качества	Фундаментальная шкала f	Обращенная нормированная фундаментальная шкала y_0, Y_0, ϕ_0
Непременное	0–3	1,0–0,7
Низкое	3–5	0,7–0,5
Удовлетворительное	5–6	0,5–0,4
Хорошее	6–8	0,4–0,2
Высокое	8–10	0,2–0,0

В терминах теории нечетких множеств [6−8] фундаментальная шкала представляет собой функцию принадлежности, с помощью которой осуществляется переход от лингвистической переменной (удовлетворительное качество, высокое качество и пр.) к количественным (5,5; 7,0) по шкале баллов, т.е. переход от нечетких качественных градаций к числам.

После заполнения все анкеты поступают к организаторам экспертизы и обрабатываются. Исходный массив представляет собой совокупность чисел f_{jk}. Эта оценка, данная j-м экспертом k-му критерию по шкале анкеты, $j \in [1, m]$; где m − количество экспертов. Полученные оценки можно просто усреднить по оценкам:

$$f_k = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} f_{jk}, k \in [1, S], \tag{1}$$

и считать задачу решаемой. Так и поступают, если задача достаточно проста, количество экспертов достаточно велико и состав их достаточно однороден. В более сложных случаях вместо (1) следует применять методику обработки экспертных оценок с учетом коэффициентов достоверности [9].

Фундаментальным отличием свертки по нелинейной схеме от других известных скалярных сверток выступает ограниченная связь с ситуацией принятия многокритериального решения. По сути, предложенная свертка представляет собой нелинейную функцию регрессии (линейную по параметрам), выбранную по физическим соображениям и поэтому эффективную. Коэффициенты имеют смысл параметров содержательной нелинейной функции регрессии, поэтому, будучи найденными, они не изменяются от ситуации к ситуации, как в случае с линейной или другими известными, не адаптирующимися к ситуации функциями.

Механизм индивидуальных предпочтений достаточно интенсивно применяется при решении многокритериальных задач [10]. Однако субъективность в их решении допустима и желательна лишь до тех пор, пока результат предназначается для ЛПР или небольших коллективов людей со определенными предпочтениями. Если же он обязан быть вполне объективным, унифицированным, в этих случаях механизм индивидуальных предпочтений из методики решения многокритериальных задач нужно исключить во избежание произвола и неоднозначности результатов решения.

Когда результат решения многокритериальной задачи предназначается для широкого использования, то он унифицируется, и индивидуальные предпочтения нивелируются по статистике, применим принцип недостаточного основания Бернули-Лаппаса, если априорные вероятности возможных гипотез неизвестны, то их следует положить равным, т.е. считать равномерными [11]. В применении к многокритериальной задаче это означает, что весовые коэффициенты $\alpha_k, K \in [1, S]$ должны быть равными, если только нет никаких предварительных данных о разноценности критериев $\alpha_k = 1/S, \forall k \in [1, S]$. Тогда $Y(\alpha, y_0) = \frac{1}{S}\sum_{k=1}^{S}[1 - y_{ok}(x)]^{-1}$.

Учитывая, что умножение на $1/S$ является монотонным преобразованием, которое по теореме Геймейра не изменяет результатов сравнения, переходим к унифицированному выражению для скалярной свертке критериев:

$$Y(y_0) = \sum_{k=1}^{S}[1 - y_{ok}(x)] \tag{8}$$

Если вернутся к задаче оценивания проектов, то здесь $Y(y_0)$ − аналитическая оценка x-го процента из совокупности целочисленных индексов сравненных систем $x \in X = \{\text{I, II, III, IV,...}\}$.

Скалярную свертку по нелинейной схеме компромиссов можно применить как для задач анализа, когда при известном решении x оцениваются как критерии $y_0(x)$ и находится обобщенная аналитическая оценка $Y[y_0(x)]$, так и для задач синтеза, когда компромиссно-оптимальное решение (в данном случае выбор наилучшей из сравнимых систем) определяется в соответствии с моделью векторной оптимизации:

$$x^* = \arg\min Y[y_0(x)] = \arg\min \sum_{k=1}^{S}[1 - y_{ok}(x)]^{-1}.$$

Оба случая предусматривают определение численных значений аналитической оценки $Y(y_0)$. Но если в задачах синтеза решение получается в результате составления значений, то в задаче анализа абсолютна величина $Y(y_0)$ еще ничего, но говорит о том, насколько соответствует требованием (или не соответствует) данная система.

Для ответа на этот вопрос решим задачу перехода от численной оценки $Y(y_0)$ к лингвистической категории "соответствует − не соответствует". Прежде всего нормируем аналитическую оценку, чтобы при несоответствии системы требованиям нормирования оценка $Y(y_0)$ приближалась к единице, а при соответствии – к нулю:

$$Y_0(y_0) = \frac{Y(y_0)}{Y_{\max}}, \tag{9}$$

где $Y_{\max}$ – предельно плохая аналитическая оценка для анализируемой системы.

Для определения величины $Y_{\max}$ воспользуемся принципом солидарной ответственности. В применении к нашей задаче она состоит в следующем. В интервале неприемлемых оценок (0,7–1,0) обращенной нормированной фундаментальной шкалы выбираем некоторую величину $y_{0\max}$, которую реально может достичь любой из нормированных частных критериев.

Отметим, что эту величину нужно подобрать так, чтобы правильно оценивались тестовые примеры (настройка решающего правила).

В соответствии с принципами солидарной ответственности, если какой-либо нормированный критерий сможет достичь величины $y_{0\max}$, то и остальным нормированным критериям приписывается возможность достижения такого же значения [11]. Если это так, то величину $Y_{\max}$ можно вычислить согласно выражения:

$$Y_{\max} = S(1 - y_{0\max}) \tag{10}$$

Нормированная аналитическая оценка системы Y_0 тоже измеряется по обращенной нормированной фундаментальной шкале (см. табл. 1), которая в терминах теории нечетких множеств является функцией принадлежности. С ее помощью осуществляется переход от числа Y_0 к соответствующей числовой градации.

Скалярную свертку вида (δ) удобно использовать, если количество частных критериев S не слишком велико (в обычной практике $S \le 10$). Тогда каждый из критериев играет самостоятельную роль и все они одинакового ранга важности. Однако имеются такие сложные многокритериальные задачи, которые характеризуются большим числом частных критериев. В этих случаях отдельные критерии слабо влияют на конечный результат решения многокритериальной задачи. Целесообразно обеспечить их в группы, которые рассматриваются как новые, более высокие частные критерию, эти новые критерии сопоставляются между собой в процессе анализа или выбора системы.

В результате кластеризации получается совокупность из нормированных критериев: $Y_{oij}(x) - j$-й нормированный исходный частный критерий, входящий в i-ю группу. Вычисления новых критериев в виде отдельных скалярных сверток вектора y_0 осуществляется по нелинейной схеме компромиссов:

$$\varphi_i(x) = \sum_{j=1}^{\Gamma_i} [1 - y_{0ij}(x)]^{-1}, i \in [1, l], \tag{11}$$

где $\varphi_i(x)$ – новые частные критерии; l – количество групп; Γ_i – количество необходимых частных критериев в i-й группе.

Скалярная свертка вектора $\varphi(x)=\{\varphi_i(x)\}_{i=1}^{l}$ новых частных критериев как обобщенная оценка всей системы в целом выполняется и в этом случае по нелинейной схеме компромиссов (поэтому они вложенные) и вычисляются по выражению:

$$\Phi(x)=\sum_{i=1}^{l}\frac{B_i}{B_i-\varphi_i(x)} \tag{12}$$

или

$$\Phi(x)=\sum_{i=1}^{l}\frac{1}{1-\varphi_i(x)} \tag{13}$$

Если новые критерии нормированы по выражению:

$$\varphi_0(x)=\varphi/B \tag{14}$$

Здесь B_i – предельно допустимое значение нового частного критерия $\varphi_i(x)$. Ограничение составляет вектор $B=\{B_i\}_{i=1}$.

Для вычисления компонентов вектора B снова воспользуемся принципом солидарной ответственности. Как и в предыдущем случае, в интервале неприемлемых оценок (0,7–1,0) обращенной нормированной фундаментальной шкалы выбираем величину $y_{0\max}$ и аналогично выражению (10) получаем выражение:

$$B_i=\Gamma_i(1-y_{0m})^{-1}, i\in[1,l] \tag{15}$$

Анализировать и сопоставлять системы по нормированным критериям $y_0(x)$ существенно проще.

Полученная по выражениям (12) и (13) аналитическая оценка формируется по выражению:

$$\Phi_0=\frac{\Phi}{\Phi_{\max}}, \tag{16}$$

где $\Phi_{\max}=l(1-y_{0\max})^{-1}$. Нормированная аналитическая оценка системы по критериям Φ_0 тоже измеряется по обращенной нормированной фундаментальной шкале (см. табл. 1). В этом случае получается более адекватная качественная оценка, поскольку отдельные частные критерии оказывают более весомое влияние на агрегированные критерии по группам, чем на всю аналитическую оценку в целом, как это имеет место в выражении (8).

Выводы

При оценке выполненных исследований, можно сделать вывод, что системный анализ – это процесс подготовки основы для создания или выбора системы с необходимыми свойствами. Ведущей технологией при этом будет принятие решений, т.е некоторый, формальный или неформальный выбор, осуществляемый исследователем или техническим устройством на основе данных системного анализа и сведений о требуемых характеристиках выбираемой оптимизации. Поскольку при анализе сложных технических систем, к которым относятся и системы технической защиты информации, как правило, характеризуются противоречивыми свойствами, то и оценка, и оптимизация (выбор) таких сложных систем будет выполняться как многокритериальная (векторная).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Воронин А.И.* Сложные технические и эрготические методы исследования / А.И. Воронин, Ю.К. Зиатдинов, А.В. Марченко. – Харьков : Факт, 1997. – 240 с.
2. *Тарасов В.А.* Интеллектуальные системы поддержки принятия решений : теория, синтез, эффективность / В.А. Тарасов, Б.М. Герасимов, И.А. Левин, В.А. Корнейчук. – К. : МАКНС, 2007. – 336 с.
3. *Фишберн П.* Теория полезности для принятия решений / П. Фишберн. – М. : Наука, 1987. – 352 с.
4. *Saaty T.L.* Decision making for leaders. – Pittsburg: RWS Publication, 2006. – 420 p.
5. *Миркин Б.Г.* Проблемы группового выбора / Б.Г. Миркин. – М. : Наука, 1974. – 240 с.
6. *Корченко А.Г.* Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практические решения / А.Г. Корченко. – К. : МК. – Пресс, 2006. – 320 с.
7. *Кофман А.* Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман. – М. : Радио и связь, 1982. – 432 с.
8. *Алтунин А.Е.* Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях / А.Е. Алтунин, М.В. Семухин. – Тюмень : Изд-во ТГУ, 2000. – 352 с.
9. *Воронин А.И.* Векторная оптимизация динамических систем / А.И. Воронин, Ю.К. Зиатдинов, А.И. Козлов. – К. : Техніка, 1999. – 284 с.
10. *Жуковский В.И.* Многокритериальные принятия решений в условиях непределенности / В.И. Жуковский, В.С. Молотов. – М. : Изд-во МНИИПУ, 1988. – 132 с.
11. *Іванченко Є.В.* Алгоритми прогнозування технічного стану комплексних систем захисту інформації / Є.В. Іванченко, В.О. Хорошко, Ю.Є. Хохлачова // Правове нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні. – 2013. – Вип 1 (25). – С. 9–16.

Отримано 13.08.2014.