

# Способ количественной оценки интероперабельности<sup>1</sup>

В.К. Батоврин, А.С. Королев

**Аннотация.** В работе предложены наборы показателей и варианты шкал для оценки интероперабельности открытых информационных систем. Описан механизм решения задачи количественной оценки интероперабельности на основе нечеткой модели с учетом весов влияющих факторов.

**Ключевые слова:** интероперабельность, нечеткий логический вывод, лингвистическая переменная, поддержка принятия решений.

## Введение

Интероперабельность характеризует способность двух или более систем или элементов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена, и является одной из ключевых характеристик открытых систем (ОС) [1]. Обеспечение высокого уровня интероперабельности во многих работах рассматривается как одна из главных задач, стоящих перед создателями информационных систем различного назначения. Таким образом, возникает необходимость в количественной оценке интероперабельности как при разработке, так и при модернизации информационных систем (ИС).

Сегодня неизвестен общий метод, пригодный для количественной оценки интероперабельности любых систем, использующих произвольный способ взаимодействия. В работах [2,3] нами была предложена методика количественной оценки приемлемости решений при создании ОС, основанная на построении иерархии показателей, характеризующих ОС и её элементы, привязке этих показателей к подходящей шкале с дальнейшим построением дерева решений и вычислением состояния управляющей вершины. Поскольку исходные показатели, характери-

зующие ОС, как правило, не могут быть измерены количественно, а только с использованием шкал порядка и таких признаков, как «лучше», «хуже», «больше», «меньше», для оценки состояния управляющей вершины нами использовалась процедура нечеткого логического вывода (НЛВ). В настоящей работе предлагается способ количественной оценки интероперабельности, основанный на упомянутой методике и предположении о том, что интероперабельность в распределенной системе или системе систем (например, [4]) определяется потенциальной способностью каждого из компонентов к обмену информацией или использованию информации, полученной в результате обмена, а также влиянием этого элемента на результирующий показатель, которое учитывается весовыми коэффициентами. Таким образом, оценив показатель интероперабельности для каждого из компонентов или системы с помощью подходящей эталонной модели, подобной описанной в [5,6], и системы оцениваемых согласно упомянутой выше методике и привязанных к нечеткой шкале показателей, характеризующих интероперабельность, а также веса элементов, мы сможем количественно оценить интероперабельность системы или системы систем в целом.

<sup>1</sup> Работа поддержана Советом по грантам Президента РФ, грант МК-1976.2009.9

### Выбор показателей интероперабельности и лингвистических переменных

Предлагаемый нами способ может применяться при наличии принятой эталонной модели интероперабельности, позволяющей построить иерархию показателей интероперабельности. В большинстве известных эталонных моделей [4-6] выделяются слои интероперабельности – от технических до организационных и бизнес-слоев. Мы для примера будем использовать модель, включающую четыре слоя интероперабельности – физический, синтаксический, семантический и организационный и, соответственно, четыре показателя  $X_i$ , характеризующих эти аспекты интероперабельности (Табл. 1)

При необходимости в рассмотрение могут быть включены и другие слои интероперабельности, например, концептуальный, характеризующий способность к совместному использованию информации в условиях согласования допущений и ограничений, унифицирующий, характеризующий способность к использованию на мета-уровнях единых форматов данных для связывания семантически эквивалентных моделей, федеративный, характеризующий способность к использованию общей онтологии, прагматический, характеризующий способность к совместному использованию информации в контексте решаемых задач и т.п.

Для получения количественных оценок интероперабельности поставим в соответствие

введенным показателям лингвистические переменные, описываемые набором  $(X, T(X), U, G, M)$ , в котором  $X$  – название переменной, способной, для определенности, принимать значения в интервале от 0 до 100;  $T(X)$  – термножество  $X$ , т.е. совокупность ее лингвистических значений;  $U$  – универсальное множество;  $G$  – синтаксическое правило, порождающее термы множества  $T(X)$ ;  $M$  – семантическое правило, которое каждому лингвистическому значению  $X$  ставит в соответствие значение нечеткой переменной  $M(X)$ , обозначающее нечеткое подмножество множества  $U$ .

Для нахождения терм-множеств  $T(X_i)$  необходимо условиться о допустимой степени неопределенности в оценке интероперабельности. В работах [3,7] было показано, что при экспертном оценивании характеристик открытых систем и программных продуктов хорошие результаты получаются при количестве термов от трех до пяти, при этом различия между крайними случаями сравнительно невелики. С учетом сказанного будем использовать на нижних уровнях иерархии в качестве синтаксического правила, порождающего лингвистические переменные, или грамматику "Низкий" (Н), «Ниже среднего» (НС), "Средний" (С), "Выше Среднего" (ВС), "Высокий" (В), или грамматику "Низкий" (Н), "Средний" (С), "Выше Среднего" (ВС), "Высокий" (В), а на верхних уровнях иерархии грамматику "Низкий" (Н), "Средний" (С), "Высокий" (В) с возможным уточнением этой рекомендации по мере накопления экспертной информации.

Табл. 1. Показатели интероперабельности

Показатель	Обозначение	Описание показателя
Физическая интероперабельность	$X_1$	Показатель, характеризующий способность различных информационных систем и/или их компонентов к обмену сигналами и данными и на этой основе к совместному использованию данных на основе поддержки согласованных интерфейсов, коммуникационных протоколов и механизмов доступа к хранилищам данных.
Синтаксическая интероперабельность	$X_2$	Показатель, характеризующий способность различных информационных систем и/или их компонентов к обмену данными и, на этой базе, к совместному использованию данных на основе согласования кодов, форматов и типов данных.
Семантическая интероперабельность	$X_3$	Показатель, характеризующий способность различных информационных систем и/или их компонентов, построенных, возможно, по различным техническим принципам, к согласованному функционированию на основе единой, недвусмысленной, адекватной интерпретации информации, полученной в результате обмена.
Организационная интероперабельность	$X_4$	Показатель, характеризующий способность различных бизнес-субъектов, бизнес-объектов и бизнес-процессов, использующих, возможно, различную информационную инфраструктуру, к согласованному функционированию на основе обмена информацией.

При необходимости построение функций принадлежности (ФП) для каждого показателя может быть выполнено с помощью одного из известных методов, например, метода парных сравнений, на основе экспертных или интервальных оценок, с применением параметрического подхода и т.п. [9]

**Используемая модель оценки интероперабельности**

Пусть имеется распределенная ИС, состоящая из N элементов, характеристики которых оказывают влияние на показатель интероперабельности всей системы ( $I_{сис}$ ). Присвоим каждому такому элементу показатель интероперабельности ( $I_{элi}$ ). Пусть показатель интероперабельности каждого элемента влияет на показатель интероперабельности всей системы с определенным весом ( $j$ ), тогда  $I_{сис} = f(I_{эл1}^{j1}, I_{эл2}^{j2}, \dots, I_{элN}^{jN})$ .

Показатель интероперабельности каждого элемента ИС определяется своим набором показателей ( $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iM}$ ) (в Табл. 1 таких показателей четыре), каждый из которых имеет вес ( $k$ ), следовательно,  $I_{элi} = f(X_{i1}^{k1}, X_{i2}^{k2}, \dots, X_{iM}^{kM})$ . Возможны случаи, когда все элементы и/или показатели с точки зрения своего влияния на общее свойство равноправны, тогда веса не вычисляются.

Правила НЛВ могут задаваться различным образом. Как показал опыт [2], удобно использовать процедуру НЛВ по Мамдани с построением нечеткой базы правил. В Табл. 2 приведен фрагмент экспертной нечеткой базы правил для оценки показателя интероперабельности элемента распределенной системы  $I_{эл1}$ .

Табл. 2. Фрагмент нечеткой базы правил для оценки показателя интероперабельности

Если	то
$X_1=N$ и $X_2=NC$ и ... и $X_k=N$ $X_1=N$ и $X_2=NC$ и ... и $X_k=C$ $X_1=N$ и $X_2=C$ и ... и $X_k=NC$	$I_{эл1}=N$
$X_1=C$ и $X_2=C$ и ... и $X_k=B$ $X_1=C$ и $X_2=B$ и ... и $X_k=B$ $X_1=BC$ и $X_2=C$ и ... и $X_k=B$ .....	$I_{эл1}=B$

Чтобы получить оценку показателя интероперабельности системы, нужно на каждом уровне иерархии осуществить агрегацию правил по соответствующей базе правил. Для этого требуется выполнить операцию пересечения (логический минимум, И –  $\otimes$ ) по каждой строке базы правил и операцию объединения строк (логический максимум, ИЛИ –  $\oplus$ ), соответствующих одному суждению (одному терму). Пример такого вычисления по нечеткой базе правил из Табл.2 для термина «Н» первого элемента системы приведен ниже.

$$\begin{aligned} \mu^H(I_{эл1}) = & \mu^H(X_1) \otimes \mu^{HC}(X_2) \otimes \dots \otimes \mu^H(X_k) \oplus \\ & \oplus \mu^H(X_1) \otimes \mu^{HC}(X_2) \otimes \dots \otimes \mu^C(X_k) \oplus \\ & \oplus \mu^H(X_1) \otimes \mu^C(X_2) \otimes \dots \otimes \mu^{HC}(X_k), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\mu$  - степень принадлежности показателя соответствующему терму.

Если показатели имеют различную важность и им приписываются веса, то они вставляются в вышеприведенные операции как степени значений каждого из показателей.

Сами веса можно определить на основе процедуры парного сравнения показателей [8]. Вначале формируется матрица В, элементы которой находятся из Табл. 3 и удовлетворяют следующим условиям:  $b_{ii} = 1; b_{ij} = 1/b_{ji}$ .

Затем находится  $w$  – собственный вектор матрицы В, соответствующий максимальному собственному значению.

Искомые значения коэффициентов  $\alpha_i$  получаются умножением элементов  $w$  на  $n$  для выполнения условия  $\alpha_i = nw_i$ .

Табл. 3. Шкала относительной важности для парных сравнений

Относительная важность показателей $X_i$ и $X_j$	Элемент $b_{ij}$
Равная важность	1
Немного важнее	3
Важнее	5
Заметно важнее	7
Намного важнее	9
Промежуточные значения	2,4,6,8

**Пример оценки интероперабельности ИС**

Пусть ИС состоит из трех элементов Э<sub>i</sub>, показатель интероперабельности каждого из которых влияет на показатель интероперабельности ИС в целом с соответствующими весами: Э<sub>1</sub> (вес j1), Э<sub>2</sub> (вес j2), Э<sub>3</sub> (вес j3).

Пусть экспертами используются следующие показатели интероперабельности отдельных элементов (также с определенными весами): Э<sub>1</sub> - X<sub>1</sub> (вес k<sub>11</sub>) и X<sub>2</sub> (вес k<sub>12</sub>), Э<sub>2</sub> - X<sub>2</sub> (показатель один, поэтому вес не вычисляется), Э<sub>3</sub> - X<sub>2</sub> (вес k<sub>31</sub>), X<sub>3</sub> (вес k<sub>32</sub>) и X<sub>4</sub> (вес k<sub>34</sub>)

Измеряем значения показателей по универсальной шкале и переводим их в лингвистические значения при помощи ФП. Пусть получено, что для Э1: X<sub>1</sub>=0,3Н+0,7НС; X<sub>2</sub>=0,2В+0,8ВС, для Э2: X<sub>2</sub>=0,4НС+0,6С, а для Э3: X<sub>2</sub>=0,6С+0,4ВС; X<sub>3</sub>=0,25НС+0,75С; X<sub>4</sub>=0,2С+0,8ВС.

Вычисляем на базе экспертных решений веса показателей. Пусть для x1 матрица парных сравнений выглядит следующим образом:

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>
X <sub>1</sub>	1	1/8
X <sub>2</sub>	8	1

тогда собственный вектор матрицы: 0,11; 0,89; вес X<sub>1</sub>=2\*0,11=0,22; вес X<sub>2</sub>=2\*0,89=1,78.

Аналогично для x3:

	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
X <sub>2</sub>	1	5	1/3
X <sub>3</sub>	1/5	1	1/9
X <sub>4</sub>	3	9	1

В этом случае собственный вектор матрицы: 0,27; 0,06; 0,67; вес X<sub>2</sub>=3\*0,27=0,81; вес X<sub>3</sub>=3\*0,06=0,18; вес X<sub>4</sub>=3\*0,67=2,01.

Зададим лингвистическую шкалу оценки интероперабельности элемента: Н, С, ВС, В и построим базу правил для НЛВ показателя интероперабельности каждого элемента ИС.

Для элемента Э1:

Если X <sub>1</sub> =Н, X <sub>2</sub> =Н Если X <sub>1</sub> =Н, X <sub>2</sub> =С Если X <sub>1</sub> =С, X <sub>2</sub> =Н	I <sub>э1</sub> =Н
Если X <sub>1</sub> =С, X <sub>2</sub> =Н Если X <sub>1</sub> =ВС, X <sub>2</sub> =С Если X <sub>1</sub> =С, X <sub>2</sub> =С	I <sub>э1</sub> =С

Если X <sub>1</sub> =С, X <sub>2</sub> =Н Если X <sub>1</sub> =ВС, X <sub>2</sub> =С Если X <sub>1</sub> =С, X <sub>2</sub> =С	I <sub>э1</sub> =ВС
Если X <sub>1</sub> =С, X <sub>2</sub> =С Если X <sub>1</sub> =ВС, X <sub>2</sub> =В Если X <sub>1</sub> =ВС, X <sub>2</sub> =ВС	I <sub>э1</sub> =В

Для элемента Э2 значение показателя интероперабельности полностью определяется значением показателя X<sub>2</sub>.

Для элемента Э3:

Если X <sub>2</sub> =Н, X <sub>3</sub> =Н, X <sub>4</sub> =Н Если X <sub>2</sub> =Н, X <sub>3</sub> =С, X <sub>4</sub> =Н Если X <sub>2</sub> =С, X <sub>3</sub> =Н, X <sub>4</sub> =Н	I <sub>э3</sub> =Н
Если X <sub>2</sub> =С, X <sub>3</sub> =Н, X <sub>4</sub> =С Если X <sub>2</sub> =ВС, X <sub>3</sub> =С, X <sub>4</sub> =Н Если X <sub>2</sub> =С, X <sub>3</sub> =С, X <sub>4</sub> =С	I <sub>э3</sub> =С
Если X <sub>2</sub> =С, X <sub>3</sub> =Н, X <sub>4</sub> =С Если X <sub>2</sub> =ВС, X <sub>3</sub> =С, X <sub>4</sub> =Н Если X <sub>2</sub> =С, X <sub>3</sub> =С, X <sub>4</sub> =С	I <sub>э3</sub> =ВС
Если X <sub>2</sub> =С, X <sub>3</sub> =С, X <sub>4</sub> =ВС Если X <sub>2</sub> =ВС, X <sub>3</sub> =В, X <sub>4</sub> =С Если X <sub>2</sub> =ВС, X <sub>3</sub> =ВС, X <sub>4</sub> =С	I <sub>э3</sub> =В

Подставим в базы правил лингвистические значения показателей с учетом их весов и проведем свертку по аналогии с (1). Получим, что для элемента Э1: Н(I<sub>э1</sub>)=(0,3^0,22)Н+(0,3^0,22)Н=0,77; С(I<sub>э1</sub>)=0; ВС(I<sub>э1</sub>)=0; В(I<sub>э1</sub>)=(0,2^1,78)В+(0,8^1,78)ВС=0,06В+0,67В=0,67, соответственно I<sub>э1</sub>=0,77Н+0,67В.

Аналогично получаем для элемента Э2 – I<sub>э2</sub>=0,4НС+0,6С и для элемента Э3 – I<sub>э3</sub>=0,95Н+0,48С+0,48ВС+0,64В.

Вычислим на базе экспертных решений веса влияния показателя интероперабельности каждого элемента на результирующий показатель интероперабельность ИС.

	Э1	Э2	Э3
Э1	1	3	5
Э2	1/3	1	3
Э3	1/5	1/3	1

Здесь собственный вектор матрицы: 0,64; 0,26; 0,10; вес Э1=3\*0,64=1,92; вес Э2=3\*0,26=0,78; вес Э3=3\*0,10=0,3.

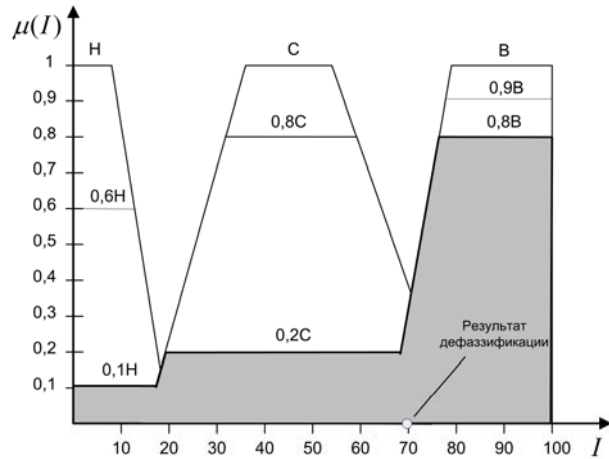
Зададим на уровне системы в целом лингвистическую шкалу оценки интероперабельности системы: Н, С, В, и построим базу правил для НЛВ интероперабельности всей ИС.

Если $I_{эл1}=Н, I_{эл2}=Н, I_{эл3}=Н$ Если $I_{эл1}=Н, I_{эл2}=С, I_{эл3}=Н$ Если $I_{эл1}=С, I_{эл2}=Н, I_{эл3}=Н$	$I_{сис}=Н$
Если $I_{эл1}=С, I_{эл2}=Н, I_{эл3}=С$ Если $I_{эл1}=ВС, I_{эл2}=С, I_{эл3}=Н$ Если $I_{эл1}=С, I_{эл2}=С, I_{эл3}=С$	$I_{сис}=С$
Если $I_{эл1}=С, I_{эл2}=С, I_{эл3}=ВС$ Если $I_{эл1}=ВС, I_{эл2}=В, I_{эл3}=С$ Если $I_{эл1}=ВС, I_{эл2}=ВС, I_{эл3}=С$	$I_{сис}=В$

Подставим в базу правил лингвистические значения интероперабельности элементов, найденные на предыдущем этапе, с учетом их весов, проведем свертку и получим  $H(I_{сис})=(0,77^{\wedge}1,92)H*(0,95^{\wedge}0,3)H+(0,77^{\wedge}1,92)H*(0,6^{\wedge}0,78)C*(0,95^{\wedge}0,3)H+(0,95^{\wedge}0,3)H=0,6H*0,98H+0,6H*0,67C*0,98H+0,98H=0,6$ ;  $C(I_{сис})=0,8$ ,  $B(I_{сис})=0,8$ , таким образом, для системы в целом оценка показателя интероперабельности имеет следующий вид:  $I_{сис}=0,6H+0,8C+0,8B$ .

Используя операцию дефаззификации полученного нечеткого множества, можно получить количественное значение оценки показателя интероперабельности исследуемой системы. При функциях принадлежности, приведенных на рисунке, получим  $I_{сис}=54$ .

В случае системы систем показатель интероперабельности каждой из систем рассчитывается отдельно, после чего оценивается показатель интероперабельности системы систем в целом. Пусть имеются две системы, показатель для первой рассчитан выше, а показатель интероперабельности для второй оказался  $I_{сис}=0,1H+0,2C+0,9B$ .



Нечеткая оценка интероперабельности двух систем и результат дефаззификации

Вычислим свертку на основе операции минимума и проведем дефаззификацию полученного нечеткого множества. Как видно из рисунка интероперабельность двух заданных систем будет равна 70.

### Заключение

В работе решена задача количественной оценки показателей интероперабельности для распределенных информационных систем и системы систем, для описания которых может быть использована одна из общепринятых слоистых эталонных моделей интероперабельности. Предложены наборы показателей и варианты шкал для оценки интероперабельности таких систем. Разработан механизм, позволяющий решить задачу количественной оценки интероперабельности на основе нечеткой модели с учетом весов влияющих характеристик.

Полученные результаты могут быть практически применены в процессе управления качеством ИС на предприятиях и в организациях.

### Литература

1. Технология открытых систем/Под ред. А.Я. Олейникова. М.: Янус-К, 2004.
2. Батоврин В.К., Королев А.С. Использование нечеткого логического вывода при проектировании профилей открытых систем// Системы управления и информационные технологии. – Воронеж: Научная книга, 2006. – №3(25). – С. 68-74
3. Батоврин В.К. Количественная оценка приемлемости решений при создании открытых информационных систем//Информационные технологии. – М.: Новые технологии, 2007 – №3. – С.20-26.

4. E. Morris, L. Levine, C. Meyers, P. Place, D. Plakosh System of Systems Interoperability (SOSI): Final Report. – April 2004 – Technical Report CMU/SEI-2004-TR-004 – ESC-TR-2004-004.
5. Tolk A. Beyond Technical Interoperability – Introducing a Reference Model for Measures of Merit for Coalition Interoperability. *8th International Command and Control Research and Technology Symposium*. – Washington, June 17-19, 2003. Washington DC: Command and Control Research Program, 2003.  
<http://www.dodccrp.org/8thicrts/pdf/084.pdf> (2003)
6. European Interoperability Framework for Pan-European E-government Services. Draft for public comments – as basis for EIF 2.0 – 15.07.2008, <http://ec.europa.eu/idabc/servlets/Doc?id=31597>
7. Батоврин В.К., Королев А.С. Формализация входных переменных для автоматизированной системы выбора стандартов// Информационные технологии и вычислительные системы. – М.: РАН, 2006. – №3. – С. 53-61.
8. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993.
9. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования. - Рига: Знание, 1990. - 184 с.

**Батоврин Виктор Константинович.** Заведующий кафедрой информационных систем Московского государственного института радиотехники, электроники и автоматики (технический университет) – МИРЭА. Окончил МФТИ в 1975 году. Кандидат технических наук, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, член Архитектурного комитета экспертно-консультативной группы Совета при Президенте РФ по развитию информационного общества. Автор более 180 научных работ, в том числе монографий и учебников. Специалист в области системной и программной инженерии, информационных технологий, открытого образования. Область научных интересов управление жизненным циклом систем, принятие решений при создании сложных систем, открытые системы, функциональная стандартизация, автоматизированные системы сбора и обработки данных. E-mail: batovrin@mirea.ru.

**Королев Антон Сергеевич.** Доцент кафедры информационных систем МИРЭА. Окончил Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики – МИРЭА в 2002 году. Кандидат технических наук. Лауреат премии Правительства Москвы молодым ученым города в области информационных и телекоммуникационных технологий в 2005 году. Автор более 30 научных работ. Специалист в области объектно-ориентированного программирования, баз данных, открытых информационных систем. Круг научных интересов: открытые системы, функциональная стандартизация, системный анализ, системы поддержки принятия решений, программирование. E-mail: korolev@mirea.ru.