УДК 004.62

С.В. Разумников

Планирование развития облачной стратегии на основе применения многокритериальной оптимизации и метода STEM

После внедрения облачных технологий на предприятии необходимо их сопровождать и в целом управлять облачной ИТ-стратегией. Существует необходимость принятия решений по развитию использования облачных ИТ-сервисов на предприятии. Приводится пример при разработке плана развития использования облачных технологий на предприятии на основе разработанной модели с использованием методов оптимизации – многокритериального линейного программирования, а также метода ограничений STEM, который позволяет вычислить веса критериев в процессе человеко-машинного взаимодействия. Данная модель позволяет определить план развития облачной стратегии за счет оптимизации критериев, связанных с работой облачных сервисов. Оценка по критериям с идеальным вариантом предоставляется лицу, принимающему решение. На основе представленных данных выводится компромиссное решение, которое будет являться удовлетворительным в плане развития использования облачных технологий.

Ключевые слова: облачные технологии, модель, метод STEM, принятие решений, многокритериальная оптимизация, сервис, линейное программирование.

doi: 10.21293/1818-0442-2020-23-1-53-61

Концепция облачных вычислений в сфере информационных технологий стала очень популярной за последние несколько лет [1]. При принятии решений о внедрении облачных технологий необходимо наличие четко проработанной ИТ-стратегии, которая помогает правильно поставить цели перед ИТ-отделом предприятия и увидеть достижение этих целей, корректировать и контролировать движение к достижению результата [2]. Эта стратегия важна не только на стадии задания цели, но и после внедрения, а также на стадии сопровождения [3].

На последнем этапе перехода к облачным технологиям проводится оптимизация [4]. Этап оптимизации облачной стратегии, а именно проработка плана развития этой стратегии, позволяет лучше и быстрее освоить преимущество облачных технологий: повысить оперативность и адаптивность бизнеса, снизить капитальные и эксплуатационные расходов, улучшить масштабируемость.

Оптимизация осуществляется с помощью следующих мероприятий:

– проверка архитектуры;
– аудит системы обеспечения безопасности;
– проверки с целью снижения расходов;
– улучшение рабочих процессов;
– индивидуальная настройка инструментов;
– поддержка после развертывания.

Поэтому и после развертывания облака важно не просто поддерживать, но и развивать облачные сервисы с учетом требования бизнеса.

Планирование развития облачной стратегии

Несмотря на то, что сегодня существуют организации, предоставляющие услуги по упрощению развертывания облачных сред на предприятии, успех проекта по внедрению во многом зависит от проработанной облачной ИТ-стратегии, а также расписанного плана действий по внедрению, развитию и сопровождению. Главная задача заключается в том, чтобы как можно быстрее получить ожидаемую эффективность [5]. Понимание относительной важности этих целей совершенно необходимо для разработки эффективной стратегии облачной среды.

Кроме того, разработка такой стратегии требует от ИТ-специалистов и представителей бизнеса совместного обсуждения готовности организации к развитию облачной среды не только в смысле достаточной степени виртуализации и автоматизации инфраструктуры, но также с точки зрения культурной готовности организации к изменениям, порождаемым облачной средой [6]. Заинтересованным сторонам нужно проанализировать, как влияет использование облачных ИТ-сервисов на работу в организации, как они повлияют на выполнение производственных процессов, согласовать стратегические ожидания и требования организации к облачной среде, включая следующее [7]:

– Роль облачной среды в формировании бизнес-процессов.

– Рабочие нагрузки, получающие максимальные преимущества от облачной среды (разработка/тестирование, производство, корпоративные приложения).

– Требования к готовности, производительности и безопасности.

– Требования к вычислительной мощности, системам хранения и пропускной способности.

– Ответственность за операционную систему (ОС) и инфраструктуру и ответственность за управление.

– Интеграция с традиционной серверной инфраструктурой организации.

– Интеграция с более широкой корпоративной стратегией в области ИТ и бизнеса.

Анализ методов принятия решений при планировании развития облачной стратегии

Анализ методической литературы по теории принятия решений показывает, что при выборе ос-

новных направлений развития могут быть использованы такие популярные методы, как метод анализа иерархий, ELECTRE, методы свертки векторного критерия, методы нечетких множеств, многокритериальная оптимизация, человеко-машинные процедуры (метод STEM). Именно эти методы получили наибольшую популярность и используются при принятии решений на предприятии.

При дальнейшей поддержке облачной модели важно уделить внимание как ее техническому обслуживанию, так и возможности эффективной работы с бизнес-процессами [6, 7]. С использованием экономико-математического моделирования [8, 9] можно определить эффект от работы с облачными ИТ-сервисами, например, прибыль от выполнения определённых процессов или проектов; затраты, которые вынуждена понести организация, а также выполнение особых условий, которые позволяют реализовать использование облачных технологий [10–12]. Здесь на помощь приходит принятие решений при многих критериях [13–16], линейное программирование. В задачах принятия решений при многих критериях большую популярность получил метод ELECTRE [17–20], особо успешно применяемый в многоцелевых задачах со своеобразной комбинацией шкал, а также метод ограничений STEM. В отличие от ELECTRE в методе STEM веса назначаются не ЛПР, а при помощи человеко-машинного взаимодействия. Результаты при использовании построенной модели будут определяться после проведения нескольких итераций по алгоритму STEM. Эти данные позволяют получить достаточно точные значения для принятия решений.

Приведем сравнение широко известных методов поддержки принятия решений, которые можно применить в данной предметной области. Сравнительная таблица методов с указанием достоинств и недостатков приведена в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ методов поддержки принятия решений

Название метода	Суть метода	Область применения	Достоинства	Недостатки
Анализ иерархий	Декомпозиция проблемы на более простые ее составляющие части и дальнейшая обработка последовательности суждений ЛПР по парным сравнениям	При планировании промышленности, банковского дела, в сфере городского хозяйства, координации общественных услуг, выработка стратегии, оценка рисков и др.	Принимает во внимание «человеческий фактор»; не находится в зависимости от сферы деятельности, в которой решается; дает удобные средства учета экспертной информации; прост по своей организации	Нет средств для проверки достоверности данных; дает лишь метод рейтингования альтернатив; используются в основном процедуры парных сравнений, которые могут быть противоречивыми
ELECTRE	Для вершин, не сравнимых по абсолютному доминированию, вводятся индексы согласия и несогласия, учитывающие относительную важность критериев	Ситуации, когда критерии не просто упорядочены, а имеют количественную оценку важности, но альтернативы решений при этом оцениваются в качественной шкале	Является человеко-машинной процедурой; успешно себя зарекомендовал; был решен ряд серьезных задач; представление в виде графа предпочтений	Количество альтернатив должно быть небольшим, а критерии должны быть количественными; построенное отношение относительного доминирования не обладает свойствами транзитивности
STEM	Определение весов критериев; процесс принятия решений происходит с применением итераций, в каждой из которых имеется фаза расчетов и фаза анализа	В многокритериальных задачах линейного программирования	Основан на человеко-машинном взаимодействии; успешно применяется совместно с многокритериальным линейным программированием; отсутствует право на ошибку за счет установления порога	Возможно выполнение большого числа итераций
Аддитивная свертка	Предполагает подход, когда низкие оценки по критериям имеют одинаковый статус по сравнению с высокими	Для нахождения обобщенного интегрального показателя по критериям для альтернативы	Простота использования	Высокие оценки могут компенсироваться низкими
Нечеткий вывод	Реализует эвристический подход с построением функции принадлежности и продукционных правил	В области управления и принятии решений в условиях неопределенности и недостатка информации	Позволяет удачно представить мышление человека; модели просты для понимания на качественном уровне	Отсутствие строгих математических моделей и алгоритмов, основано на соображениях «здравого смысла»

Был проведен следующий эксперимент. Рассматривались три варианта (инновационные проекты по развитию организации), и проводилась их оценка при помощи различных пяти методов принятия решений. В результате расчетов были получены данные по каждому проекту. На рис. 1 представлены

результаты сравнительного анализа, полученные различными методами принятия решений при оценке инновационных проектов по развитию. Для результатов, полученных по методам ELECTRE и STEM, было выполнено приведение к общему виду.

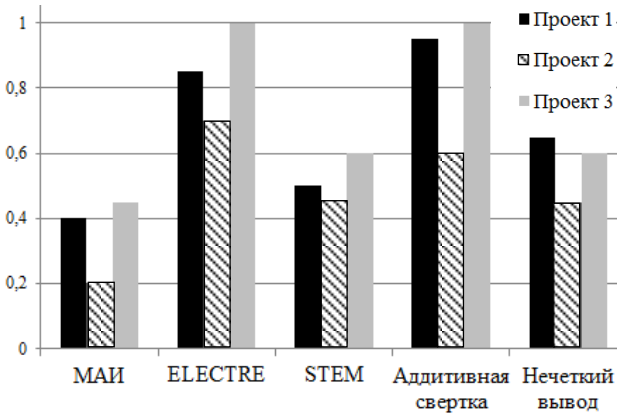


Рис. 1. Результаты сравнительного анализа

Как видим из рисунка, несмотря на то, что исходная информация является последовательной и непротиворечивой, полученные результаты отличаются. И даже там, где результаты совпадают, значения различны. Как отмечено в работе [21], несовпадение результатов, полученных разными методами, объясняется, с одной стороны, различными способами представления экспертной информации, с другой стороны, различием подходов к принятию решений. Данный анализ также показывает производительность этих методов.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что:

– каждый метод имеет свои ограничения, и исследователь должен получить представление о методе перед тем, как его использовать;

– основной проблемой многокритериального выбора являются выбор критериев, а также возможные способы вычисления интегральных оценок;

– широкие возможности для представления информации дает эвристические подход;

– важность использования более точных весовых коэффициентов;

– чем лучше формализована задача, тем лучше.

Остановимся на выборе использования метода STEM, так как в отличие от других методов позволяет указывать веса критериев через человеко-машинные процедуры, что позволит более точно проанализировать план развития облачных сервисов.

Рассмотрим задачу по принятию решений о развитии использования облачных ИТ-сервисов на предприятии. Инструментом для анализа будет являться *многокритериальная оптимизационная модель линейного программирования* с применением метода STEM.

Метод STEM

В некоторых методах принятия решения ЛПР (лицу, принимающему решение) необходимо самому задавать веса критериев, что является весьма затруднительно. Но существуют процедуры, которые основаны на человеко-машинном взаимодействии. В таких процедурах процесс принятия решений происходит с применением итераций, в каждой из которых имеется фаза расчетов и фаза анализа.

Расчеты проводятся, как правило, при помощи компьютера, так как они очень сложны и занимают много времени. На компьютере вычисляется решение, которое будет соответствовать достигнутому уровню понимания проблемы, и с учетом дополнительной информации предлагается ЛПР.

Фаза анализа будет проводиться ЛПР. Он будет оценивать представленное решение и определять, будет ли это решение удовлетворительным. Если такое решение будет приемлемым, то процедура заканчивается, иначе ЛПР проводит анализ дополнительной информации и передает ее на компьютер для корректировки решения.

Одним из таких методов, помогающим определить веса критериев, является метод ограничений STEM для многокритериального линейного программирования. В данном методе применяется линейная свертка, где веса критериев не устанавливаются заранее, а вычисляются в результате человеко-машинного взаимодействия.

Приведем задачу многокритериального линейного программирования с целевыми функциями:

$$u_j(X) = c_j^T \to \max, \quad j = 1, ..., n \qquad (1)$$

при следующих ограничениях:

$$a_i^T X \le b_i, \quad i = 1, ..., m; \qquad (2)$$

$$X \ge 0,$$

где u – целевая функция (критерий); X – переменные, в нашем случае x_1 и x_2, т.е. проекты А и Б; j – количество критериев (целевых функций); a – система ограничений; b – сами ограничения; i – количество ограничений (уравнений в системе).

Алгоритм первой итерации метода STEM будет описываться выполнением следующих шагов.

Фаза расчетов

Шаг 1. Оптимизация области допустимых решений. При помощи симплекс-метода производится оптимизация на максимум и минимум по всем критериям (1) в отдельности (индекс i, где $1 \le i \le n$ обозначим критерии, по которым будет выполняться оптимизация). Таким образом, находим по каждому измерению $u_i^{\min}$, $u_i^{\max}$ и значения переменных $X_i^{\max}$, дающие максимум, границы достижимой области. В каждой точке $X_i^{\max}$ вычисляются значения остальных критериев, он составляют матрицу оптимальных значений размерности $n \times n$. Далее нормализуем столбцы матрицы по формуле (3), диагональные же элементы будут равняться единице (табл. 2).

$$u'_j = \frac{u_j - u_j^{\min}}{u_j^{\max} - u_j^{\min}}, \qquad (3)$$

где $[u_j^{\min}, u_j^{\max}]$ – соответственно наименьшие и наибольшие оценки по j-му критерию.

Такая матрица будет содержать информацию об области допустимых решений. Если два столбца (кроме единицы), например, будут похожи друг на друга, то это говорит о том, что эти критерии сильно зависимы, поскольку изменения других критериев одинаково влияют на два этих. И наоборот, если столбцы будут резко различаться, то это будет свидетельствовать о противоречивости критериев.

Таблица 2

Нормализованные значения критериев после оптимизации

Оптимизируемый критерий i	Значения критериев			
	$u_1(X_i^{\max})$	$u_2(X_i^{\max})$	…	$u_n(X_i^{\max})$
1	1	u_{12}	…	u_{1n}
2	u_{21}	1	…	u_{2n}
…	…	…	…	…
n	u_{n1}	u_{n2}	…	1

Шаг 2. Расчет технических весов критериев. Вычисляем веса критериев по матрице с нормализованными оптимальными значениями. Такие веса принято называть *техническими*, поскольку они вычисляются, а не задаются ЛПР.

Среднее значение элементов (кроме тех, которые равны единице) j-го столбца обозначим через a_j:

$$a_j = \frac{1}{n-1} \sum_{\substack{i=1 \\ (i \neq j)}}^{n} u_{ij} . \quad (4)$$

Тогда технические веса критериев w_j определяются из системы линейных уравнений:

$$\frac{w_j}{w_1} = \frac{1-a_j}{1-a_1}, \quad j = 2,...,n, \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{n} w_j = 1.$$

Понимание значения весов воспринимаются как индексы к соответствующим критериям. Если элементы j-го столбца будут близки к единице, то после проведения оптимизации по другим критериям значение этого критерия станет ближе к наилучшему, w_j станет ближе нулю, а a_j – к единице. Этому критерию не стоит уделять много внимания. Критерию, который сильно зависит от других (когда a_j мало), следует уделить больше внимания.

Шаг 3. Оптимизация функции ценности. Здесь проводим линейную свертку частных критериев с полученными техническими весами. Функция ценности (обобщенный критерий) будет иметь вид

$$u(X) = \sum_{j=1}^{n} w_j u_j(X) = \left(\sum_{j=1}^{n} w_j c_j \right)^T X \to \max. \quad (6)$$

Далее проводим максимизацию функции ценности на множестве допустимых решений. Полученное в ходе решений оптимальное значение предъявляется ЛПР вместе со значениями всех других критериев для этого решения:

$$u^* = \left(u_1(X^*), ..., u_n(X^*) \right)^T .$$

Фаза анализа

Шаг 4. Проверка на окончание работы. Анализируется вектор со значениями критериев u^*, который найден по обобщенному критерию (6) при оптимизации. Решение считается найденным в случае, если значения по всем компонентам будут удовлетворительны.

Шаг 5. Задание порога. Если же полученные значения не будут удовлетворять ЛПР, то он должен указать критерий u_k, который, по его мнению, будет иметь наихудшее значение, и определить для него минимальный порог h_k. При достижении этого порога значение критерия будет считаться удовлетворительным:

$$u_k(X) = c_k^T X \geq h_k . \quad (7)$$

Условие (7) необходимо добавить к системе ограничений (2), которые будут определять область допустимых значений переменных.

Фаза анализа на этом закончена. Далее необходимо провести итерацию фазы расчетов уже с новой областью допустимых значений и т.д. Процедура прекращается после достижения по всем критериям приемлемых значений для ЛПР.

Применение метода STEM в принятии решений на развитие использования облачных ИТ-сервисов

Рассмотрим общий пример при разработке плана развития использования облачных технологий на предприятии с использованием методов оптимизации – многокритериального линейного программирования, а также метода ограничений STEM, который позволяет вычислить веса критериев в процессе человеко-машинного взаимодействия. Данный пример будет служить шаблоном для подобных расчетов с бóльшим количеством критериев, используемых технологий или выполняемых проектов (вычислительных процедур). После проведенных расчетов анализируется полученное компромиссное решение и сравнивается с идеальным. Если все компоненты будут иметь удовлетворительные значения, то решение получено и принимается ЛПР при планировании развития облачной стратегии.

Определим основные составляющие задачи линейного программирования целевых функций: u_1 – общая прибыль от реализации суточного (или может быть месячного) плана; u_2 – целевая функция: затраты от реализации суточного (или может быть месячного) плана; u_3 – целевая функция, связанная с экспортом продукции/услуг или увеличением производства.

В табл. 3 представлены основные данные задачи для критерия «Прибыль».

Для другого критерия «Затраты» значения для целевой функции будут следующие: для А затраты за обработку одной вычислительной процедуры / проекта составляют 10 ед., для В – 5 ед. Знаки у коэффициентов второй целевой функции будут изменены, чтобы оптимизации совпадали.

Таблица 3

Основные данные задачи для критерия «Прибыль»

Облачные сервисы	Затраты на обработку одной вычислительной процедуры/проекта (усл. ед.)		Ограничения, усл. ед.
	A	B	
I (IaaS)	10	5	50
II (SaaS)	6	9	54
Прибыль за выполнение одной процедуры/проекта	8	6	

Предположим, что предприятие из стратегических соображений заинтересовано в экспорте своей продукции/услуг или увеличении производства товара. Таким образом, планирование развития ИТ-сферы с использованием облачных технологий опишем следующей задачей многоцелевого линейного программирования:

$$u_1(x_1,x_2)=8x_1+6x_2\to\max,$$
$$u_2(x_1,x_2)=-10x_1-5x_2\to\max,$$
$$u_3(x_1,x_2)=x_1\to\max,$$
$$10x_1+5x_2\le 50,$$
$$6x_1+9x_2\le 54,$$
$$x_1,x_2\ge 0.$$

Итерация 1

Шаг 1. Проводим поочередную оптимизацию на минимум и максимум по трем критериям, исследуя область допустимых решений. Полученные результаты сведем в табл. 4, в которой строки будут соответствовать критериям выполненной оптимизации.

Таблица 4

Оптимизация значений критериев

i	Оптимизация			Значения критериев		
	$u_i^{\max}$	$u_i^{\min}$	$X_i^{\max}$	$u_1(X_i^{\max})$	$u_2(X_i^{\max})$	$u_3(X_i^{\max})$
1	48	0	$(3,4)^T$	48	–50	3
2	0	–50	$(0,0)^T$	0	0	0
3	5	0	$(5,0)^T$	40	–50	5

Приведем нормализованные значения критериев и соответствующие значения a_j (табл. 5).

Таблица 5

Нормализованные значения критериев со значениями a_j

i	Значения критериев		
	$u_1(X_i^{\max})$	$u_2(X_i^{\max})$	$u_3(X_i^{\max})$
1	1	0	0,6
2	0	1	0
3	0,833	0	1
a_j	**0,417**	**0**	**0,3**

Шаг 2. Составляем уравнения для нахождения технических весов критериев:

$$w_2=\frac{1-a_2}{1-a_1}w_1=1,714w_1,$$

$$w_3=\frac{1-a_3}{1-a_1}w_1=1,2w_1,$$

$$w_1+w_2+w_3=1,$$

откуда $w_1 = 0,255$, $w_2 = 0,438$, $w_3 = 0,307$.

Шаг 3. Получим функцию ценности, свернув все три критерия с посчитанными техническими весами:

$$f(x_1,x_2)=(0,255\cdot 8-0,438\cdot 10+0,307\cdot 1)x_1+$$
$$+(0,255\cdot 6-0,438\cdot 5+0,307\cdot 0)x_2=-2,029x_1-0,657x_2.$$

Решим задачу линейного программирования с целевой функцией и ограничениями, получим $X^*=(0,0)^T$. Вычислим значения критериев в этой точке и предоставим их ЛПР с идеальными значениями, которые были получены при оптимизации по критериям (табл. 6):

Таблица 6

Сравнение вычисленных значений с идеальными значениями, полученными при оптимизации

	u_1 (прибыль)	u_2 (затраты)	u_3 (экспорт)
Идеал	48	0	5
X^*	0	0	0

Шаг 4. Анализ ЛПР полученного решения показывает его неприемлемость. Наибольшее неудовлетворение вызывает критерий u_1 – нулевая прибыль.

Шаг 5. Далее необходимо установить подходящий порог h_1. Для этого необходимо рассчитать несколько вариантов оптимизации по данному критерию при различных значениях порога. Для этой цели добавим дополнительное неравенство к исходным ограничениям:

$$u_1(x_1,x_2)=8x_1+6x_2\ge h_1.$$

Решим несколько задач максимизации с функцией ценности (8) и с добавленным ограничением. Результаты расчетов приведены в табл. 7.

Таблица 7

Расчеты нескольких вариантов оптимизации

Вариант	u_1 (прибыль)	u_2 (затраты)	u_3 (экспорт)
Идеал	48	0	5
$h_1=20$	20	–16,67	0
$h_1=24$	24	–20	0
$h_1=30$	30	–25	0
$h_1=36$	36	–30	0

ЛПР в качестве компромиссного значения выбирает порог $h_1=30$, при котором величина затрат невысока и прибыль удовлетворительна.

На этом итерация анализа заканчивается. Допустимые решения в новом множестве определим неравенствами:

$$10x_1+5x_2\le 50,$$
$$6x_1+9x_2\le 54,$$
$$8x_1+6x_2\ge 30,$$
$$x_1,x_2\ge 0.$$

Итерация 2

Шаг 1. Проводим расчеты по исследованию множества допустимых решений аналогично предыдущей итерации. Представим результаты расчетов (табл. 8) с уже нормализованными значениями.

Шаг 2. Аналогичным образом получаем технические веса по матрице значений критериев:

$w_1 = 0{,}2982$, $w_2 = 0{,}4128$, $w_3 = 0{,}2890$.

Шаг 3. Функция ценности будет иметь следующий вид:

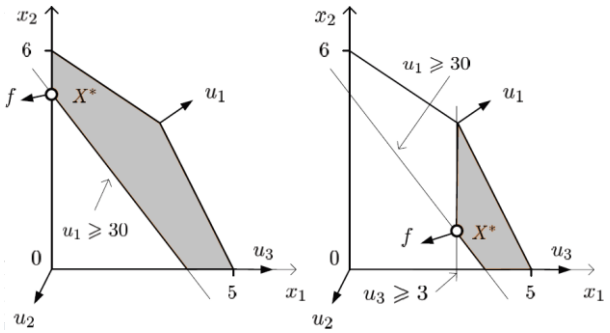
$$f(x_1, x_2) = -1{,}45413x_1 - 0{,}27523x_2. \qquad (8)$$

Таблица 8

Расчеты нескольких вариантов оптимизации

i	Оптимизация			Нормализованные значения критериев		
	$u_i^{\max}$	$u_i^{\min}$	$X_i^{\max}$	$u_1(X_i^{\max})$	$u_2(X_i^{\max})$	$u_3(X_i^{\max})$
1	48	30	$(3,4)^T$	1	0	0,6
2	–25	–50	$(0,5)^T$	0	1	0
3	5	0	$(5,0)^T$	0,555	0	1

Покажем область допустимых решений по второй итерации за счет введения ограничения $u_1(x_1, x_2) = 8x_1 + 6x_2 \geq 30$ (рис. 2, *а*). Нахождение максимума функции ценности (8) при заданных ограничениях дает оптимальное решение $X^* = (0,5)^T$. На рисунке показаны дополнительные ограничения, а также направления возрастания функции ценности (обобщенного критерия) и частных критериев.



а *б*

Рис. 2. Область допустимых решений метода STEM: *а* – на второй итерации; *б* – на третьей итерации

Приведем оценки (табл. 9) по всем критериям с идеальным решением.

Таблица 9

Сравнение вычисленных значений с идеальными значениями, полученными при оптимизации

	u_1 (прибыль)	u_2 (затраты)	u_3 (экспорт)
Идеал	48	0	5
X^*	30	–25	0

Шаг 4. ЛПР считает снова его неприемлемым, так как экспорт нулевой. Данное значение критерия считается неудовлетворительным.

Шаг 5. Добавим дополнительное неравенство к ограничениям для установления подходящего порога h_3.

$$u_3(x_1, x_2) = x_1 \geq h_1.$$

Максимизируем (8), изменяя h_3. Результаты расчетов представим в табл. 10.

Из представленных вариантов ЛПР выбирает $h_3 = 3$. Новое множество для допустимых решений определим неравенствами:

$$\begin{aligned} &10x_1 + 5x_2 \leq 50, \\ &6x_1 + 9x_2 \leq 54, \\ &8x_1 + 6x_2 \geq 30, \\ &x_1 \geq 3, \\ &x_1, x_2 \geq 0. \end{aligned} \qquad (9)$$

Таблица 10

Расчеты нескольких вариантов оптимизации

Вариант	u_1 (прибыль)	u_2 (затраты)	u_3 (экспорт)
Идеал	48	0	5
$h_3 = 2$	30	–31,67	2
$h_3 = 3$	30	–35	3
$h_3 = 4$	32	–40	4

Итерация 3

В результате аналогичных расчетов получаем следующие результаты (табл. 11):

Таблица 11

Расчеты нескольких вариантов оптимизации

i	Оптимизация			Нормализованные значения критериев		
	$u_i^{\max}$	$u_i^{\min}$	$X_i^{\max}$	$u_1(X_i^{\max})$	$u_2(X_i^{\max})$	$u_3(X_i^{\max})$
1	48	30	$(3,4)^T$	1	0	0
2	–35	–50	$(3,1)^T$	0	1	0
3	5	3	$(5,0)^T$	0,555	0	1

Отсюда веса критериев:

$w_1 = 0{,}2653$, $w_2 = 0{,}3673$, $w_3 = 0{,}3673$.

Функция ценности на 3-й итерации будет иметь вид (10):

$$f(x_1, x_2) = -1{,}18367x_1 - 0{,}2449x_2. \qquad (10)$$

На рис. 1, *б* представлена иллюстрация процесса максимизации (10) при ограничениях (9). Как видно, область допустимых решений сократилась за счет ограничения $u_3(x_1, x_2) = x_1 \geq 3$ по сравнению с предыдущей итерацией.

По 3-й итерации оптимальное решение $X^* = (3,1)^T$, т.е. план развития облачной стратегии предполагает выполнения 3 условных единиц проектов/вычислительных операций А и 1-й В. Оценка по трем критериям с идеальным вариантом (табл. 12) представляется ЛПР.

Таблица 12

Сравнение вычисленных значений с идеальными значениями, полученными при оптимизации

	u_1 (прибыль)	u_2 (затраты)	u_3 (экспорт)
Идеал	48	0	5
X^*	30	–35	3

Работа алгоритма завершена, так как ЛПР считает представленное компромиссное решение удовлетворительным.

Анализ полученных результатов на развитие использования облачных ИТ-сервисов

В результате проведения нескольких итераций по методу STEM было получено удовлетворительное для ЛПР компромиссное решение с учетом заданных порогов. Приведем сравнение расчетов при использовании только линейного программирования и с применением метода STEM. В табл. 13 представлено сравнение оценок многокритериальной оптимизации с/без метода STEM.

Таблица 13

Сравнение вычисленных значений многокритериальной оптимизации с/без метода STEM

Критерии	Идеал	Оптимальное значение без STEM	Оптимальное значение с STEM
u_1	48	0	30
u_2	0	0	–35
u_3	5	0	3

В столбце «Оптимальное значение без STEM» по всем трем критериям вычисленные значения равны 0 (согласно табл. 6). Далее был уже добавлен порог h и выполнены итерации по методу STEM. Окончательные значения критериев представлены в столбце «Оптимальное значение с STEM».

Как видим, использование метода STEM позволяет ЛПР рассмотреть недоминируемый критериальный вектор и указать, на какие уступки можно идти и на какую величину. За счет выполнения таких итераций исключается право на ошибку, а главное, что это решение является удовлетворительным для ЛПР. К тому же эти данные позволяют получить достаточно точные значения для принятия решений.

Заключение

В статье представлен пример при разработке плана развития использования облачных технологий на предприятии на основе разработанной модели с использованием методов оптимизации – многокритериального линейного программирования, а также метода ограничений STEM, который позволяет вычислить веса критериев в процессе человеко-машинного взаимодействия. Данная модель позволяет определить план развития облачной стратегии за счет оптимизации критериев, связанных с работой облачных сервисов. Оценка по критериям с идеальным вариантом предоставляется лицу, принимающему решение. На основе представленных данных выводится компромиссное решение, которое будет являться удовлетворительным в плане развития использования облачных технологий.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-07-00031 «Модели, алгоритмы и программное обеспечение системы поддержки принятия стратегических решений к переходу на облачные технологии».

Литература

1. Paul P.K. Cloud Computing: possibilities, challenges and opportunities with special reference to its emerging need in the academic and working area of Information Science / P.K. Paul, M.K. Ghose // International conference on modelling optimization and computing. – 2012. – Vol. 38. – P. 2222–2227.

2. Reynolds P. Aligning business and IT strategies in multi-business organization / P. Reynolds, P. Yetton // Journal of information technology. – 2015. – Vol. 30, No. 2. – P. 101–118.

3. A cloud server energy consumption measurement system for heterogeneous cloud environments / W. Lin, H. Wang, Y. Zhang, D. Qi, J. Wang, V. Chang // Information Sciences. – 2018. – Vol. 468. – P. 47–62.

4. Jones S. Cloud computing procurement and implementation: Lessons learnt from a United Kingdom case study // International journal of information management. – 2015. – Vol. 35, No. 6. – P. 712–716.

5. Razumnikov S.V. Decision support system of transition IT-applications in the cloud environment / S.V. Razumnikov, M.S. Kremnyova // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON): proceedings. – Omsk, 2015, May 21–23. – URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/7147186 (дата обращения: 22.11.2019).

6. Elamir A.M. Framework and architecture for programming education environment as cloud computing service / A.M. Elamir, N. Jailani, M.A. Dakar // Procedia Technolog. – 2013. – Vol. 11. – P. 1299–1308.

7. Sultan N. Knowledge management in the age of cloud computing and Web 2.0: Experiencing the power of disruptive innovations // International journal of information management. – 2013. – Vol. 33, No. 1. – P. 160–165.

8. Maroukhine O.V. Expert support system for making decision by the results of computer-based testing within the ends of teaching quality evaluation / O.V. Maroukhine, O.G. Berestneva // Proceedings – KORUS 2003: 7th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology. – 2003. – Vol. 2. – P. 416–419.

9. Multi-criteria optimization and decision-making in radiotherapy / S. Breedveld, D. Craft, R. Haveren, B. Heijmen // European Journal of Operational Research. – 2019. – Vol. 277, No. 1. – P. 1–19.

10. Razumnikov S.V. Models of evaluating efficiency and risks on integration of cloud-base IT-services of the machine-building enterprise: a system approach / S.V. Razumnikov, A.K. Kurmanbay // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 124, No. 1. – P. 1–5.

11. Разумников С.В. Модель поддержки принятия решений о миграции корпоративных приложений в облачную среду // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2015. – Т. 194, № 5. – С. 490–502.

12. Разумников С.В. Интегральная модель оценки результативности внедрения облачных ИТ-сервисов // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2016. – Т. 201, № 4. – С. 492–504.

13. Measurement of chip morphology and multi criteria optimization of turning parameters for machining of AISI 4340 steel using Y-ZTA cutting insert / B.K. Singh, H. Roy, B. Mondal, S.S. Roy, N. Mandal // Measurement: Journal of the International Measurement Confederation. – 2019. – Vol. 142. – P. 181–194.

14. Sensitivity analysis and multi-criteria optimization of SMA cable restrainers for longitudinal seismic protection of isolated simply supported highway bridges / J.Q. Wang, S. Li, F. Hedayati Dezfuli, M.S. Alam // Engineering Structures. – 2019. – Vol. 189. – P. 509–522.

15. A multicriteria stochastic optimization framework for sustainable forest decision making under uncertainty / E. Álvarez-Miranda, J. Garcia-Gonzalo, C. Pais, A. Weintraub // Forest Policy and Economics. – 2019. – Vol. 103. – P. 112–122.

16. Micale R. A combined interval-valued ELECTRE TRI AND TOPSIS approach for solving the storage location

assignment problem / R. Micale, C.M. La Fata, G. La Scalia // Computers and Industrial Engineering. – 2019. – Vol. 135. – P. 199–210.

17. Zhou H. Stochastic multicriteria decision-making approach based on SMAA-ELECTRE with extended gray numbers / H. Zhou, J.Q. Wang, H.Y. Zhang // International Transactions in Operational Research. –2019. – Vol. 26, No. 5. – P. 2032–2052.

18. Novel operations of PLTSs based on the disparity degrees of linguistic terms and their use in designing the probabilistic linguistic ELECTRE III method / H. Liao, L. Jiang, B. Lev, H. Fujita // Applied Soft Computing Journal. – 2019. – Vol. 80. – P. 450–464.

19. An application of the ELECTRE TRI-C method to characterize government performance in OECD countries / A.S. Costa, J. Rui Figueira, C.R. Vieira, I.V. Vieira // International Transactions in Operational Research. – 2019. – Vol. 26, No. 5. – P. 1935–1955.

20. Akram M. Novel Approach in Decision Making with m-Polar Fuzzy ELECTRE-I / M. Akram, N. Waseem, P. Liu // International Journal of Fuzzy Systems. – 2019. – Vol. 21, No. 4. –P. 1117–1129.

21. Андрейчиков А.В. Системный анализ стратегических решений в инноватике. Математические, эвристические и интеллектуальные методы системного анализа и синтеза инноваций / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Книжный дом «ЛИБРИКОМ», 2013. – 304 с.

Разумников Сергей Викторович
Канд. техн. наук, доцент Юргинского технологического института (ф-ла) Национального исследовательского Томского политехнического университета
Ленинградская ул., д. 26, г. Юрга, Россия, 652057
Тел.: +7 (384-5) 17-77-64
Эл. почта: demolove7@inbox.ru

Razumnikov S.V.

Cloud strategy development planning based on multi-criteria optimization and STEM method

After the introduction of cloud technologies in the enterprise, it is necessary to accompany it and generally manage the cloud IT-strategy. There is a need to make decisions on the development of the use of cloud IT-services in the enterprise. The article provides an example when developing a development plan for using cloud technologies in an enterprise is based on the developed model using optimization methods - multicriteria linear programming, as well as the STEM constraint method, which allows calculating the weight of criteria in the process of human-machine interaction. This model allows to define a cloud strategy development plan by optimizing criteria related to the operation of cloud services. An ideal criteria assessment is provided to the decision maker. Based on the data presented, a compromise solution is deduced, which could be relevant in the context of cloud technologies development.

Keywords: cloud technologies, model, STEM method, decision making, multi-criteria optimization, service, linear programming.
doi: 10.21293/1818-0442-2020-23-1-53-61

References

1. Paul P.K., Ghose M.K. Cloud Computing: possibilities, challenges and opportunities with special reference to its emerging need in the academic and working area of Information Science. *International conference on modelling optimization and computing*, 2012, vol. 38, pp. 2222–2227.

2. Reynolds P., Yetton P. Aligning business and IT strategies in multi-business organization. *Journal of Information Technology*, 2015, vol. 30, no, pp. 101–118.

3. Lin W., Wang H., Zhang Y., Qi D., Wang J., Chang V. A cloud server energy consumption measurement system for heterogeneous cloud environments. *Information Sciences*, 2018, vol. 468, pp. 47–62.

4. Jones S. Cloud computing procurement and implementation: Lessons learnt from a United Kingdom case study. *International Journal of Information Management*, 2015, vol. 35, no 6, pp. 712–716.

5. Razumnikov S.V, Kremnyova M.S. Decision support system of transition IT-applications in the cloud environment. *International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON): proceedings. – Omsk, 2015, May 21–23*. Available at: https://ieeexplore.ieee.org/document/7147186 (Accessed: November 22, 2019).

6. Elamir A.M., Jailani N, Dakar M.A. Framework and architecture for programming education environment as cloud computing service. *Procedia Technolog*, 2013, vol. 11, pp. 1299–1308.

7. Sultan N. Knowledge management in the age of cloud computing and Web 2.0: Experiencing the power of disruptive innovations. *International Journal of Information Management*, 2013, vol. 33, no. 1, pp. 160–165.

8. Maroukhine O.V., Berestneva O.V. Expert support system for making decision by the results of computer-based testing within the ends of teaching quality evaluation. *Proceedings – KORUS 2003: 7th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology*, 2003, vol. 2, pp. 416–419.

9. Breedveld S., Craft D., Haveren R., Heijmen B. Multi-criteria optimization and decision-making in radiotherapy. *European Journal of Operational Research*, 2019, vol. 277, no. 1, pp. 1–19.

10. Razumnikov S.V. [Evaluation of the effectiveness and risks of implementing cloud IT services]. *Basic research*, 2014, no 11-1, pp. 33–38 (in Russ.)

11. Razumnikov S.V. [Decision support model for migrating enterprise applications to the cloud]. *Scientific works of the Free Economic Society of Russia*, 2015, vol 194, no 5, pp. 490–502 (in Russ.)

12. Razumnikov S.V. [Integrated Cloud IT Services Performance Evaluation Model]. *Scientific works of the Free Economic Society of Russia*, 2016, vol. 201, no 4, pp. 492–504.

13. Singh B.K., Roy H., Mondal B., Roy S.S., Mandal N. Measurement of chip morphology and multi criteria optimization of turning parameters for machining of AISI 4340 steel using Y-ZTA cutting insert. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 2019, vol. 142, pp. 181–194.

14. Wang J.Q., Li S., Hedayati Dezfuli F., Alam M.S Sensitivity analysis and multi-criteria optimization of SMA cable restrainers for longitudinal seismic protection of isolated simply supported highway bridges. *Engineering Structures*, 2019, vol. 189, pp. 509–522.

15. Álvarez-Miranda E., Garcia-Gonzalo J., Pais C., Weintraub A. A multicriteria stochastic optimization framework for sustainable forest decision making under uncertainty. *Forest Policy and Economics*, 2019, vol. 103, pp. 112–122.

16. Micale R., La Fata C.M., La Scalia G. A combined interval-valued ELECTRE TRI AND TOPSIS approach for solving the storage location assignment problem. *Computers and Industrial Engineering*, 2019, vol. 135, pp. 199–210.

17. Zhou H., Wang J.Q., Zhang H.Y. Stochastic multicriteria decision-making approach based on SMAA-ELECTRE with extended gray numbers. *International Transactions in Operational Research*, 2019, vol. 26, no. 5, pp. 2032–2052.

18. Liao H., Jiang L., Lev B., Fujita H Novel operations of PLTSs based on the disparity degrees of linguistic terms and their use in designing the probabilistic linguistic ELECTRE III method. *Applied Soft Computing Journal*, 2019, vol. 80, pp. 450–464.

19. Costa A.S., Rui Figueira J., Vieira C.R., Vieira I.V. An application of the ELECTRE TRI-C method to characterize government performance in OECD countries. *International Transactions in Operational Research*, 2019, vol. 26, no. 5, pp. 1935–1955.

20. Akram M., Waseem N. Novel Approach in Decision Making with m-Polar Fuzzy ELECTRE-I. *International Journal of Fuzzy Systems*, 2019, vol. 21, no. 4, pp. 1117–1129.

21. Andreichikov A.V., Andreichikova O.N. [Systematic analysis of strategic decisions in innovation. Mathematical, heuristic and intellectual methods of system analysis and synthesis of innovations]. Moscow, Book House "LIBRICOM", 2013. 304 p.

Sergey V. Razumnikov
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
Department of Digital Technology,
Yurga Technological Institute (branch)
of the National Research Tomsk Polytechnic University
26, Leningradskaya st., Yurga, Russia, 652055
Phone: +7 (384-5) 17-77-64
Email: demolove7@inbox.ru