

Управление стратегическим развитием ИТ-инфраструктуры на основе нечетких правил

А. Р. Денисов

Санкт-Петербургский
государственный
электротехнический
университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)

iptema@yandex.ru

В. Миридаштаки

Санкт-Петербургский
государственный
электротехнический
университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)

vahidmiri7@gmail.com

К. Э. Гаврилина

Санкт-Петербургский
государственный
электротехнический
университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)

i@kgavrilina.ru

Аннотация. В статье представлена нечеткая модель оценки значимости проектов развития ИТ-инфраструктуры на основе производственной схемы Shortliffe. Модель учитывает стратегическую важность изменений, их ценность для заинтересованных сторон, стоимость и взаимосвязи между проектами. Используя мягкие вычисления, модель эффективно обрабатывает разнородные данные и принимает решения в условиях неопределенности. Проведен вычислительный эксперимент с 20 взаимосвязанными изменениями, который показал высокую чувствительность модели и равномерное распределение значимости изменений. Модель корректирует значимость проектов с учетом стоимости и приоритета, предлагая оптимальную последовательность внедрения. Результаты подтверждают, что система отдает приоритет малозатратным, но значимым изменениям, что делает модель полезной для стратегического управления ИТ-инфраструктурой.

Ключевые слова: нечеткая логика, ИТ-инфраструктура, стратегическое развитие, производственная модель Shortliffe, вычислительный эксперимент, приоритизация проектов

I. ВВЕДЕНИЕ

Сегодня стратегическое планирование (SP) и управление архитектурой предприятия (EAM) стали важными для организаций, которые стремятся сохранить конкурентоспособность и стимулировать инновации. Цифровая трансформация привнесла новые трудности и требования к SP, сделав жизненно важной разработку более продвинутых моделей, которые могут справиться с неопределенностью и взаимозависимостями новых бизнес-сред.

Архитектура предприятия (EA) является фундаментальной основой для согласования бизнес-целей с инфраструктурой информационных технологий (ИТ), которая обеспечивает комплексное представление о структуре и операциях компаний и организаций. Например, метод разработки архитектуры (ADM) TOGAF дает структурированный подход к проектированию, планированию, внедрению и управлению EA, гарантируя, что все части работают вместе в направлении общих бизнес-целей. [1]

Однако SP в цифровых предприятиях может иметь некоторые проблемы, которые не могут быть решены традиционными моделями. Некоторые из этих проблем – необходимость обеспечения согласованности между различными стратегиями, что может привести к несогласованности, и цели будут различаться, поскольку разные отделы и команды обычно выбирают свою стратегию в одиночку. Другая проблема – необходимость согласования стратегии ИТ и данных с бизнес-целями. В-третьих, нужны механизмы для разработки политик, которые поддерживают стратегическое развитие, особенно при внедрении новых бизнес-моделей и инициатив DT.

II. ПРЕДЛАГАЕМАЯ МОДЕЛЬ

Наша нечеткая модель, предложенная на основе производственной схемы Shortliffe, решает представленные проблемы. Используя нечеткую логику и факторы уверенности, предлагаемая модель может эффективно обрабатывать данные и принимать решения в неопределенных ситуациях, что важно и ценно при работе с качественными факторами, такими как стратегическая важность, ценность для заинтересованных сторон и т. д. Правила производства модели Shortliffe позволяют представлять сложные и трудные отношения между проектами, их стоимость, стратегическую важность и их взаимозависимости, что дает нам более полную оценку значимости проекта. [2]

Благодаря фактору уверенности (CF) модель способна справляться с неопределенностью, и это позволяет ей оценивать проекты на основе множества различных критериев, включая стратегическое соответствие, ценность для заинтересованных сторон, стоимость и взаимозависимости проекта. Такой подход гарантирует, что модель способна расставлять приоритеты для проектов, которые имеют стратегическую ценность и являются финансово жизнеспособными. Эксперименты, проведенные с 20 изменениями, показали, что модель чувствительна к проектам с низким бюджетом и подтвердила ее эффективность в реальных сценариях. Цифровая трансформация (DT) еще больше усложняет стратегическое планирование, требуя больше управления данными, оптимизации процессов и технологической интеграции. Эта модель обеспечивает

механизм оценки и приоритизации проектов для поддержки инициатив DT. Такое соответствие целям DT гарантирует, что инвестиции напрямую поддерживают бизнес-цели и операционную эффективность.

III. МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ

Рассматриваемые модели планирования следующие:

COCOMO (модель конструктивной стоимости): в этой модели оцениваются стоимость и сроки разработки программного обеспечения. Также учитываются размер проекта, сложность и опыт команды. [3]

Модель Boeing (MIT): Оптимизируются взаимозависимые проекты с помощью нелинейного целочисленного программирования. Также учитываются стратегические цели, риски, бюджет и временные периоды. Эта математическая модель позволяет определить последовательность изменений в ИТ. Но она учитывает только необходимость внедрения некоторых изменений для других. Необходимо учитывать ценность для заинтересованных лиц. [4, 5]

Mythical-Man-Mouth: эта концепция подчеркивает важность управления временем и ресурсами в ИТ-проектах. [6]

Нечеткая модель Shortliffe: важность ИТ-проектов на основе правил производства с оценкой факторов уверенности (CF). [2]

COBIT 2019 и TOGAF ADM: это стандарты для EAM, стратегического согласования ИТ и бизнеса. [1, 7] Сравнение было сделано в табл. I.

IV. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МОДЕЛИ

- Гибкость в работе с качественными и количественными данными.
- Возможность интеграции с математическими методами (оптимизация бюджета, анализ рисков). Поддержка циклов непрерывного совершенствования (HADI, CRISP-DM), что соответствует требованиям COBIT и TOGAF.
- Предлагаемая нечеткая модель превосходит COCOMO и классические методы по учету качественных факторов (стратегия, заинтересованные стороны).
- Интеграция с COBIT и TOGAF обеспечивает системный подход к управлению проектами, соответствующий стандартам цифровой трансформации.
- Ключевое преимущество – адаптивность к изменениям и поддержка принятия решений в условиях неопределенности.

ТАБЛИЦА I. СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ УЧЁТА РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ

Модель	Стоимость	Стратегии	Заинтересованная Лицо	Взаимозависимость	Риск и полезность
COCOMO	Yes	No	No	No	Partially
Model Boeing (MIT)	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Mythical-Man-Mouth	Yes	Partially	Yes	Yes	Yes
Fuzzy model (Shortliffe)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
COBIT 2019	Yes	Yes	Yes	No	Yes
TOGAF ADM	No	Yes	Yes	Yes	Partially

V. НАША МОДЕЛЬ

При разработке проектов развития ИТ-инфраструктуры важно учитывать множество факторов, таких как важность изменений с точки зрения стратегии развития компании, важность изменений с точки зрения получения ценных эффектов для ключевых заинтересованных сторон (решения их проблем и задач), стоимость проектов изменений, а также взаимосвязи и требования к порядку реализации проектов изменений между собой.

Для учета указанных выше требований, имеющих различную природу, необходимо создать математическую модель, для чего в таких условиях целесообразно использовать математический аппарат мягких вычислений. При создании модели использовалась продукционная схема Шортлиффа [2], в основе которой лежат продукционные правила типа:

$$\text{if Антецедент then Гипотеза with CF} \quad (1)$$

где *if*, *then*, *with* – ключевые слова-разделители; В Антецедент® – формула, построенная из фактов или гипотез с помощью операций конъюнкции, дизъюнкции и отрицания; конструкция «Гипотеза with CF» – консеквент правила R, и Гипотеза® – одна из гипотез продукционной системы, а CF® – коэффициент уверенности правила.

В модели Шортлиффа степень уверенности изменяется в диапазоне [-1; 1], где 1 – полная уверенность в том, что объект или правило можно использовать; -1 – полная уверенность в том, что объект или правило нельзя использовать; 0 – неопределенность в использовании объекта. Однако при управлении стратегическим развитием все изменения, включенные в план, должны быть реализованы, поэтому степени уверенности подобных изменений будут больше или равны нулю. Также при разработке нечеткой модели необходимо оценить ее чувствительность, чтобы минимизировать ситуацию, когда итоговые степени уверенности практически неотличимы друг от друга. Это часто проявляется, когда в результате выполнения модели степени уверенности имеют значения, близкие к 0, 0.5 или 1. Для проверки качества модели был проведен вычислительный эксперимент, в рамках которого сравнивались 20 взаимосвязанных изменений (C0 – C19). Результаты эксперимента также представлены в данной статье. Расчет можно найти по ссылке [8].

При оценке важности изменений с точки зрения стратегии развития компании использовалось правило:

$$\text{If Важность}(Д) \text{ and Важность}(З) \text{ then Изменение with } CF(З, \text{Изменение}) \quad (2)$$

где Важность(Д) – важность стратегического документа Д, Важность(З) – важность задачи З, сформулированной в рамках стратегического документа, CF(З, Изменение) – степень уверенности, что с помощью Изменения можно решить задачу З.

В рамках эксперимента было определено 10 стратегических документов, в каждом из которых было выделено 5 задач. При этом каждое выделенное изменение связано с 3 задачами. Все степени уверенности были выбраны случайным образом в диапазоне [0, 1] с равномерным законом распределения. Результаты выполнения правил приведены на рис. 1.



Рис. 1. Важность отдельных стратегических документов

При оценке важности изменений с точки зрения получения ценных эффектов для ключевых заинтересованных лиц использовалось правило:

$$\text{If Значимость}(СХ) \text{ and Ценность}(Эфф) \text{ then Изменение with } CF(Эфф, \text{Изменение}) \quad (3)$$

где Значимость(СХ) – значимость заинтересованного лица СХ, Ценность(Эфф) – ценность эффекта Эфф, CF(Эфф, Изменение) – степень уверенности, что с помощью Изменения можно достигнуть эффекта Эфф.

В рамках эксперимента было определено 20 заинтересованных лиц и 50 эффектов, каждое заинтересованное лицо связано с 5 эффектами. При этом каждое выделенное изменение может достигнуть не более 5 эффектов. Все степени уверенности были выбраны случайным образом в диапазоне [0, 1] с равномерным законом распределения. Результаты выполнения правил приведены на рис. 2.

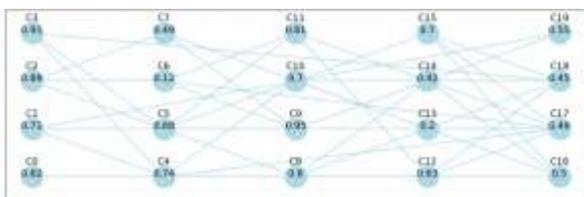


Рис. 2. Важность единичной ценности для заинтересованных лиц

Общую значимость отдельных изменений можно определить по правилам:

$$\text{if Важность_СД}(\text{Изменение}) \text{ and Важность_ЗИ}(\text{Изменение}) \text{ then Изменение with } 1 \quad (4)$$

где Важность_СД(Изменение) и Важность_ЗИ(Изменение) – значимости Изменения с точки зрения

стратегических документов и интересов заинтересованных лиц соответственно. При выполнении этих правил порог в схеме Шортлиффа был снижен с 0,2 до 0,001. Результаты моделирования представлены на рис. 3.



Рис. 3. Общая важность отдельных изменений

При оценке стоимости изменений важно учитывать, насколько она допустима в рамках бюджета развития. В эксперименте для этого использовалась следующая функция соответствия:

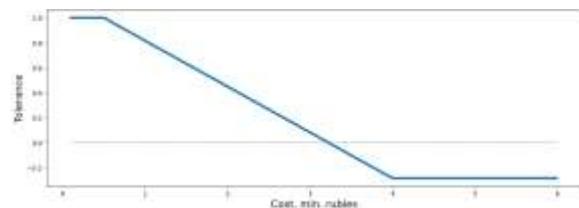


Рис. 4. Допустимость изменения стоимости

Стоимость изменений выбиралась случайным образом по экспоненциальному закону распределения ($\lambda=5$ или 1,25 млн. руб). Значения стоимости и их допустимость приведены на рис. 5.

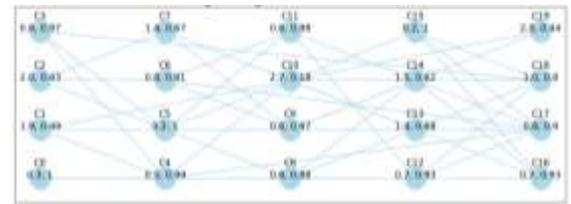


Рис. 5. Стоимость единичных изменений и толерантность к ним

При этом влияние стоимости оценивалось во взаимосвязи с правилами очередности, когда для реализации одного изменения необходимо предварительно выполнить другое. Тогда значимость предстоящего изменения должна быть увеличена за счет значимости требующих его последующих изменений по правилу:

$$\text{if Важность}(\text{Изменение}_{\text{след}}) \text{ then Изменение}_{\text{пред}} \text{ with } \text{Допустимость}(\text{Изменение}_{\text{след}}) \quad (5)$$

где Важность(Изменение_{след}) и Допустимость(Изменение_{след}) – значимость и допустимость цены последующего Изменения_{след} для реализации предыдущего Изменения_{пред}. Начальные значения значимости изменений берутся из ранее выполненных расчетов. Расчеты выполняются «справа налево»: сначала выполняются продукции, связанные с изменениями, не имеющими последующих звеньев в сетевом плане, далее выполняются продукции, связанные с изменениями, которые имеют только уже

обработанные последующие звенья и так далее. Результаты такого преобразования представлены на рис. 6.



Рис. 6. Общая значимость изменений с учетом их взаимозависимости

На последнем этапе преобразований необходимо скорректировать значимость изменений с учетом их стоимости по правилу:

$$\text{If Важность(Изменение) then Изменение with Допустимость(Изменение)} \quad (6)$$

Результаты такого преобразования представлены на рис.7.



Рис. 7. Комплексная значимость изменений с учетом их взаимозависимости

По результатам моделирования можно определить наиболее значимое изменение из левого слоя (не имеющее предыдущих звеньев). В эксперименте таким изменением является C0, которое имеет низкую стоимость (300 тыс. руб., допустимость 1) и относительно низкую собственную значимость (0,25), но вследствие высокой значимости связанных с ней изменений получившую высокую итоговую значимость (0,99). Также следует обратить внимание на изменение C3, которое изначально имело низкую значимость (0,18), однако, вследствие того, что его реализация является обязательным условием для последующих значимых изменений, итоговая значимость C3 выросла до 0,97. Распределение значений итоговой значимости изменений приведена на рисунке 8.

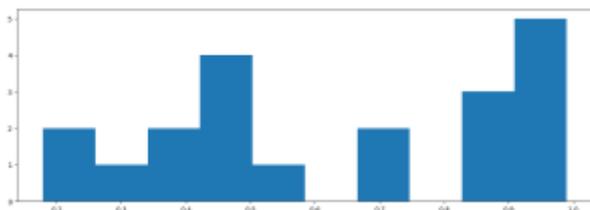


Рис. 8. Распределение значений итоговой значимости изменений

Результаты оценки значимости можно использовать при формировании оптимальной последовательности (графика) внедрения изменений. В приведенном примере первоначально нужно выполнить изменения C0 со

значимостью 0,99 и C3 со значимостью 0,97. Далее нужно выполнить изменение C1 со значимостью 0,49, после появится возможность внедрить изменения C5 со значимостью 0,98 и C4 со значимостью 0,92. И так далее. Общая последовательность изменений имеет вид (рис. 9):

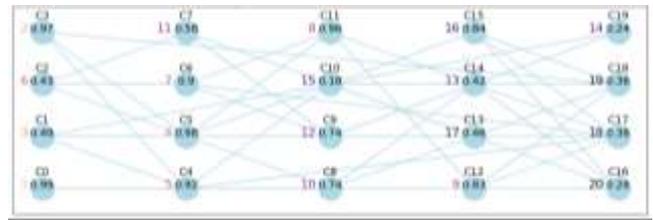


Рис. 9. Последовательность изменений с учетом их комплексной значимости

На основе полученных результатов можно определить, как повлияют проводимые интересы на решение проблем заинтересованных лиц и достижение стратегических целей. Такую проверку можно осуществить на основе следующих правил Шортлиффа:

$$\text{If Изменение then Решение(Д) with CF(З, Изменение) * Важность(З)} \quad (7)$$

где Изменение – проведенное изменение, Решение(Д) – решение задач стратегического документа Д, Важность(З) – важность задачи З, сформулированной в рамках стратегического документа, CF(З, Изменение) – степень уверенности, что с помощью Изменения можно решить задачу З.

$$\text{If Изменение then Удовл(СХ) with CF(Эфф, Изменение) * Ценность(Эфф)} \quad (8)$$

где Изменение – проведенное изменение, Удовл(СХ) – удовлетворенность заинтересованного лица СХ, Ценность(Эфф) – ценность эффекта Эфф, CF(Эфф, Изменение) – степень уверенности, что с помощью Изменения можно достигнуть эффекта Эфф. Данные правила формируются на основе преобразований правил (2) и (3).

Результаты оценки степени удовлетворенности заинтересованных лиц при последовательном проведении сформированного плана изменений приведены в таблице 2.

При экспертном анализе результатов эксперимента было замечено, что система пытается в первоочередном порядке выполнить значимые изменения, имеющие невысокую стоимость, что и было целью разработки предложенной модели. Полученные в результате эксперимента значения важности экспертное объяснимы, распределены по диапазону значений равномерно, а не сгруппированы вокруг граничных значений {0, 0,5, 1}, что подтверждает достаточную чувствительность модели. Все это говорит о том, что ее можно использовать при формировании проектов изменений ИТ-инфраструктуры в организации.

ТАБЛИЦА II. ПРОГНОЗИРУЕМОЕ ИЗМЕНЕНИЕ СТЕПЕНИ УДОВЛЕТВОРЕННОСТИ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ ЛИЦ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СФОРМИРОВАННОГО ПЛАНА ИЗМЕНЕНИЙ

	S19	S2	S17	S15	S1	S3	S6	S4	S7	S12	S5	S11	S13	S10	S8	S9	S16	S18	S14	S0
W	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0,1	0,1	0,0
C0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.8	0.5
C3	0.4	0.0	0.2	0.5	0.0	0.1	0.0	0.7	0.2	0.1	0.4	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.8	0.6
C1	0.5	0.2	0.3	0.5	0.0	0.1	0.0	1.0	0.2	0.2	0.4	0.0	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.3	0.9	0.6
C5	0.5	0.2	0.3	0.5	0.0	0.1	0.0	1.0	0.5	0.2	0.4	0.1	0.3	0.5	0.3	0.2	0.0	0.3	0.9	0.6
C4	0.6	0.2	0.3	0.5	0.0	0.5	0.0	1.0	0.5	0.2	0.4	0.1	0.3	0.5	0.3	0.2	0.0	0.3	0.9	0.6
C2	0.7	0.2	0.4	0.5	0.0	0.9	0.0	1.0	0.5	0.3	0.4	0.1	0.3	0.5	0.6	0.5	0.5	0.3	0.9	0.9
C6	0.7	0.2	0.5	0.5	0.0	0.9	0.0	1.0	0.5	0.3	0.4	0.1	0.3	0.5	0.6	0.5	0.5	0.3	0.9	0.9
C11	0.7	0.2	0.8	0.5	0.0	0.9	0.0	1.0	0.5	0.3	0.5	0.6	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5	0.3	0.9	0.9
C12	0.7	0.2	0.8	0.6	0.1	0.9	0.0	1.0	0.6	0.4	0.5	0.6	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5	0.3	0.9	0.9
C8	0.8	0.2	0.8	0.6	0.1	0.9	0.1	1.0	0.6	0.4	0.5	0.6	0.3	0.6	0.7	0.6	0.5	0.3	0.9	0.9
C7	0.8	0.2	0.8	0.8	0.2	0.9	0.1	1.0	0.6	0.4	0.5	0.6	0.3	0.6	0.7	0.6	0.5	0.3	0.9	0.9
C9	0.9	0.2	0.8	0.9	0.2	0.9	0.6	1.0	0.6	0.4	0.5	0.6	0.4	0.6	0.7	0.6	0.5	0.3	0.9	0.9
C14	0.9	0.2	0.8	0.9	0.2	0.9	0.6	1.0	0.7	0.4	0.5	0.6	0.4	0.6	0.7	0.6	0.5	0.3	0.9	0.9
C19	0.9	0.2	0.8	0.9	0.2	1.0	0.6	1.0	0.7	0.4	0.5	0.6	0.4	0.8	0.7	0.6	0.5	0.3	0.9	0.9
C10	0.9	0.2	0.8	0.9	0.3	1.0	0.6	1.0	0.8	0.5	0.5	0.6	0.4	0.8	0.7	0.6	0.5	0.3	0.9	0.9
C15	0.9	0.4	0.8	0.9	0.3	1.0	0.6	1.0	0.8	0.5	0.5	0.6	0.4	0.9	0.7	0.8	0.6	0.3	0.9	0.9
C13	0.9	0.4	0.8	0.9	0.3	1.0	0.6	1.0	0.8	0.5	0.5	0.6	0.4	0.9	0.7	0.8	0.6	0.3	0.9	0.9
C17	0.9	0.4	0.8	0.9	0.3	1.0	0.7	1.0	0.8	0.6	0.5	0.6	0.4	0.9	0.7	0.9	0.6	0.3	0.9	0.9
C18	0.9	0.4	0.8	0.9	0.3	1.0	0.7	1.0	0.8	0.6	0.5	0.6	0.4	0.9	0.7	0.9	0.6	0.3	0.9	0.9
C16	0.9	0.4	0.8	0.9	0.4	1.0	0.7	1.0	0.8	0.6	0.6	0.7	0.4	0.9	0.7	0.9	0.6	0.3	0.9	0.9

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интеграция принципов архитектуры предприятия с нечеткой моделью представляет собой мощный подход к стратегическому планированию в цифровых предприятиях. Модель решает традиционные проблемы стратегического планирования, учитывая при этом уникальные требования цифровой трансформации, предлагая организациям систематический способ согласования их технологических инвестиций с бизнес-целями и достижения устойчивого конкурентного преимущества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] The Open Group Architecture Framework, TOGAF 10, 2022. URL: <https://www.opengroup.org/togaf> (date of access: 03/15/2025).
- [2] Моросанова Н. А., Соловьев С. Ю., Формальные свойства схемы Шортлиффа, УБС. 2012, №36, pp. 5–38. URL: https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=ubs&paperid=579&option_lang=rus.
- [3] Barry W. Boehm et al. Software Cost Estimation with COCOMO II, 1st. ed., Prentice Hall Press, 2009.
- [4] Dickinson M. W., Thornton A. C. and Graves S. Technology portfolio management: optim // in IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 48, no. 4, pp. 518-527, Nov. 2001, doi: 10.1109/17.969428.
- [5] Dickinson M. W. Technology portfolio management: Optimizing interdependent projects over multiple time periods, 1999, thesis.
- [6] Brooks Jr. Frederick The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering, 1995.
- [7] COBIT 2019 Framework: Governance and Management Objectives. Information Systems Audit and Control Association, ISACA, 2018, 302 p. ISBN 9781604207286
- [8] Jupiter Notebook with code. URL: https://colab.research.google.com/drive/1ZzARseuvfO-WJLknJWt0q_wP3q_MraQy