



КОГНИТИВНЫЕ КАРТЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТРЕБОВАНИЙ СТАНДАРТОВ

А. А. Дрожкин

Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, Москва, Россия

В статье показано использование когнитивных карт для оценки и повышения качества программного обеспечения в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010 – 2015. Обоснована целесообразность применения когнитивной карты для визуализации и формального анализа взаимосвязей между характеристиками качества, описана роль метода анализа иерархий (МАИ) в агрегировании экспертных оценок. Сформулирована задача повышения качества программного продукта с целью удержания функциональной пригодности на уровне 0,9, а также приведены подробные расчеты как в статической, так и в динамической модели когнитивной карты с учетом управляемых факторов, таких как навыки команды и архитектурная сложность. Дополнительно обсуждаются результаты применения МАИ для определения весовых коэффициентов, что позволяет оценить вклад каждого фактора в итоговый уровень качества. Анализ подтверждается современными исследованиями в области когнитивного моделирования и управления качеством.

Ключевые слова: архитектурная сложность, статическая и динамическая модели, когнитивное моделирование.

COGNITIVE MAPS AS A TOOL OF ESTIMATING SOFTWARE QUALITY BASED ON STANDARD REQUIREMENTS

Aleksandr A. Drozhkin

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

The article shows the use of cognitive maps to estimate and upgrade software quality according to standard GOST R ISO/MEK 25010 – 2015. Expediency of using cognitive map for visualization and formal analysis of interaction between quality characteristics was substantiated and the role of hierarchy analysis method (MAI) in expert appraisal aggregation was shown. The goal of raising software quality was formulated in order to maintain functional suitability at the rate of 0.9 and detail calculations were provided both in static and dynamic model of cognitive map with regard to controlled factors, such as team skills and architecture complexity. At the same time results of using MAI was discussed to identify weight figures, which could help evaluate each factor in the final level of quality. The analysis was verified by current research in the field of cognitive modeling and quality management.

Keywords: architecture complexity, static and dynamic models, cognitive modeling.

Введение

Качество программного обеспечения (ПО) является ключевым фактором в успешном развитии информационных систем с учетом многокомпонентности современных проектов и эволюции требований к нему. Стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010 – 2015 определяет две взаимосвязанные модели качества: модель

качества программного продукта и модель качества использования, ориентированную на удовлетворенность пользователя. Многие исследования подтверждают, что данные характеристики тесно взаимосвязаны – улучшение одной из них может негативно влиять на другую [6; 7]. В этих условиях востребованы методы, позволяющие формализовать и анализировать та-

кие связи, а когнитивные карты являются одним из эффективных инструментов для достижения этих целей [3; 6].

На основе метода анализа иерархий (МАИ) можно агрегировать экспертные оценки для получения точных числовых весов влияния факторов, исключая неясности формулировок. Сочетание когнитивной карты и МАИ дает возможность формально и прозрачно оценить состояние качества ПО, а также спрогнозировать изменения при управляемых корректировках. В статье ставятся задачи повышения качества, демонстрации статической и динамической моделей оценки, а также рассчитываются итоговые показатели с использованием когнитивной карты и МАИ [1; 5; 8].

Обоснование использования когнитивной карты и МАИ

Стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010 – 2015 включает восемь важных характеристик качества ПО: функциональную пригодность (C1), надежность (C2), производительность (C3), безопасность (C4), пригодность к использованию (C5), совместимость (C6), сопровождаемость (C7), переносимость (C8). Эти характеристики многократно упоминаются в литературе и признаются тесно взаимосвязанными [4].

Когнитивная карта позволяет наглядно отобразить, какие факторы оказывают положительное или отрицательное влияние

на другие; структурировать подхарактеристики (полноту, корректность, соответствие задачам для C1); учитывать внешние факторы, такие как навыки команды (F1), архитектурную сложность (F2), бюджет и т. д.

Для количественного описания силы этих связей используют метод анализа иерархий. Попарные сравнения факторов представляются в виде матриц, из которых вычисляют собственные векторы приоритетов. Результирующие числа интерпретируются как весовые коэффициенты w_{ij} , которые затем вносятся в когнитивную карту. Если есть отрицательные связи (конфликты), их указывают со знаком «минус» (например, -0,3).

Постановка задачи повышения качества программного продукта

Требованиями технического задания определяется значение показателя на уровне не менее 0,9 (90% качества), например, удерживать функциональную пригодность (C1) на уровне 0,9. Показатель является комплексным и включает множество подхарактеристик и внешних факторов, влияющих на C1. На рисунке показан условный фрагмент когнитивной карты, включающий часть основных факторов (C1, C3, C4), а также внешние (F1, F2). Числа отражают условные веса, часть из которых вычислена через МАИ.

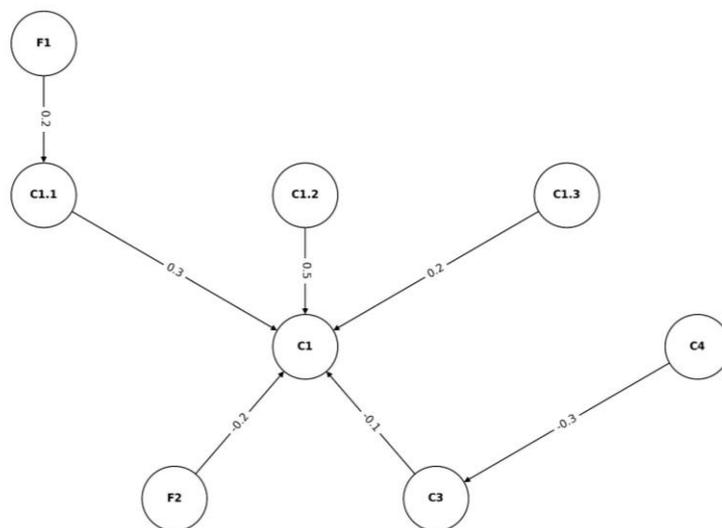


Рис. Пример когнитивной карты с условными весами

Ниже приводится пример матрицы попарных сравнений (таблица) для факторов внутри одного кластера (C1.1, C1.2, C1.3). В результате соответствующих расчетов, вы-

полненных на основе метода анализа иерархий, получен набор весовых коэффициентов, используемых для построения когнитивной карты [1; 5].

Фрагмент матрицы попарных сравнений для подхарактеристик C1

Пара факторов	Шкала (1-9)	Интерпретация
C1.1 vs C1.2	3	Полнота умеренно важнее корректности
C1.1 и C1.3	1/2	Соответствие задачам несколько важнее полноты (обратная оценка)
C1.2 и C1.3	5	Корректность гораздо важнее соответствия задачам

Допустим, итоговые локальные веса после нормировки и проверки согласованности составили $w(C1.1) = 0,3$; $w(C1.2) = 0,5$; $w(C1.3) = 0,2$. Данные веса влияют на формирование соответствующих ветвей в когнитивной карте: если C1.2 (корректность) является самым важным фактором, это отражается большим весом (например, +0,3 или +0,35) из C1.2 в C1.

Статическая модель

В статической постановке у каждого фактора X_i есть значение в интервале $[0, 1]$. Пусть $X_{C1.1} = 0,8$; $X_{C1.2} = 0,7$; $X_{C1.3} = 0,75$; $F1 = 0,50$; $F2 = 0,60$ и т. д. Имеется матрица весов W , где $w_{i,C1}$ отражает вклад фактора i в итоговую оценку C1. Рассмотрим формулу линейной свертки:

$$C1_{new} = X_{C1} + \sum_i(w_{i,C1} \cdot X_i).$$

Если итог выходит за границы $[0, 1]$, применяется нормировка. Статический

подход позволяет оценить, достигает ли C1 уровня 0,9 при текущих значениях факторов. Если нет, то возникает вопрос, какие факторы нужно изменить. Для ответа на него полезно рассмотреть динамическую модель.

Расчет динамической модели

Динамическая модель предполагает итеративное обновление значений факторов

$$X_j(t + 1) = f(X_j(t) + \sum_i(w_{i,j} \cdot X_i(t))).$$

Компания выбирает управляемые факторы (например, навыки команды F1, архитектурную сложность системы F2) и задает сценарии их изменения. Цель – достичь $C1(t) \geq 0,9$.

Ниже приведен подробный расчет для двух сценариев, иллюстрирующий различия в динамике C1.

Пример динамических сценариев

Для упрощения добавим функцию clip(x):

$$\text{clip}(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq 0; \\ x, & \text{если } 0 \leq x \leq 1; \\ 1, & \text{если } x > 1. \end{cases}$$

Сценарий 1. Рост навыков (F1), рост сложности (F2)

Начальные условия:

- C1(0) = 0,85;
- F1(0) = 0,50 (навыки команды);
- F2(0) = 0,60 (архитектурная сложность).

Управление: на каждом шаге $F1(t + 1) = F1(t) + 0,10$; $F2(t + 1) = F2(t) + 0,05$. Пусть в когнитивной карте заданы следующие веса влияния на C1:

- $w_{F1 \rightarrow C1} = +0,2$;
- $w_{F2 \rightarrow C1} = -0,2$.

Тогда для $C1$ используется следующая формула (линейная свертка с обрезкой в $[0, 1]$):

$$C1(t + 1) = \max(0, \min(1, C1(t) + w_{F1 \rightarrow C1} \cdot F1(t) + w_{F2 \rightarrow C1} \cdot F2(t))).$$

Итерация $t = 1$:

- $F1(1) = 0,50 + 0,10 = 0,60$;
- $F2(1) = 0,60 + 0,05 = 0,65$;
- $C1(1) = \text{clip}(C1(0) + 0,2 \cdot 0,50 - 0,2 \cdot 0,60) = \text{clip}(0,85 + 0,10 - 0,12) = \text{clip}(0,83) = 0,83$.

Итерация $t = 2$:

- $F1(2) = 0,60 + 0,10 = 0,70$;
- $F2(2) = 0,65 + 0,05 = 0,70$;
- $C1(2) = \text{clip}(0,83 + 0,2 \cdot 0,60 - 0,2 \cdot 0,65) = \text{clip}(0,83 + 0,12 - 0,13) = \text{clip}(0,82) = 0,82$.

Итерация $t = 3$:

- $F1(3) = 0,70 + 0,10 = 0,80$;
- $F2(3) = 0,70 + 0,05 = 0,75$;
- $C1(3) = \text{clip}(0,82 + 0,2 \cdot 0,70 - 0,2 \cdot 0,70) = \text{clip}(0,82 + 0,14 - 0,14) = \text{clip}(0,82) = 0,82$.

После трех итераций $C1$ остается на уровне 0,82. При этом набор управленческих действий (увеличение $F1$ и еще больший рост $F2$) не позволяет достичь заданного порога 0,9. Расчеты показывают, что дальнейшие итерации также не приводят к существенному росту $C1$, если сохраняются эти темпы.

Сценарий 2: Рост навыков ($F1$), снижение сложности ($F2$)

Начальные условия:

- $C1(0) = 0,85$;
- $F1(0) = 0,50$;
- $F2(0) = 0,60$.

Управление: на каждом шаге $F1(t + 1) = F1(t) + 0,10$; $F2(t + 1) = F2(t) - 0,02$. Те же веса влияния на $C1$: $w_{F1 \rightarrow C1} = +0,2$, $w_{F2 \rightarrow C1} = -0,2$. Формула та же:

$$C1(t + 1) = \text{clip}(C1(t) + 0,2 \cdot F1(t) - 0,2 \cdot F2(t)).$$

Итерация $t = 1$:

- $F1(1) = 0,50 + 0,10 = 0,60$;
- $F2(1) = 0,60 - 0,02 = 0,58$;
- $C1(1) = \text{clip}(0,85 + 0,2 \cdot 0,50 - 0,2 \cdot 0,60) = \text{clip}(0,85 + 0,10 - 0,12) = \text{clip}(0,83) = 0,83$.

Итерация $t = 2$:

- $F1(2) = 0,60 + 0,10 = 0,70$;
- $F2(2) = 0,58 - 0,02 = 0,56$;
- $C1(2) = \text{clip}(0,83 + 0,2 \cdot 0,60 - 0,2 \cdot 0,58) = \text{clip}(0,83 + 0,12 - 0,116) = \text{clip}(0,834) = 0,834$.

Итерация $t = 3$:

- $F1(3) = 0,70 + 0,10 = 0,80$;
- $F2(3) = 0,56 - 0,02 = 0,54$;
- $C1(3) = \text{clip}(0,834 + 0,2 \cdot 0,70 - 0,2 \cdot 0,56) = \text{clip}(0,834 + 0,14 - 0,112) = \text{clip}(0,862) = 0,862$.

Итерация $t = 4$:

- $F1(4) = 0,80 + 0,10 = 0,90$;
- $F2(4) = 0,54 - 0,02 = 0,52$;
- $C1(4) = \text{clip}(0,862 + 0,2 \cdot 0,80 - 0,2 \cdot 0,52) = \text{clip}(0,862 + 0,16 - 0,104) = \text{clip}(0,918) = 0,918$.

На четвертом шаге $C1$ превышает 0,9 (0,918), следовательно, цель достигнута. При этом сочетание «рост $F1$ и снижение $F2$ » дает более выгодную траекторию, чем «рост $F1$ и рост $F2$ » из сценария 1. Подобные расчеты можно продолжать, учитывая

влияние прочих факторов (С3, С1.2, С1.3 и др.), и применять более сложную функцию $f(X_j(t) + \sum_i(w_{ij} \cdot X_i(t)))$, но принцип остается тем же – итерационно пересчитывать значения и наблюдать за приращением целевого показателя.

Мониторинг качества программного обеспечения с использованием когнитивных карт

В современных условиях оперативное управление качеством программного обеспечения требует не только начальной оценки и прогнозирования, но и постоянного контроля состояния системы. Когнитивные карты благодаря своей гибкой структуре позволяют интегрировать входные данные (оценки факторов) в режиме реального времени и обновлять итоговые показатели по мере поступления новых данных. Это обеспечивает формирование временных рядов, по которым можно отслеживать динамику изменений ключевых характеристик, таких как функциональная пригодность, производительность и безопасность [3; 8].

Такой подход имеет несколько преимуществ. Во-первых, регулярное обновление значений факторов позволяет выявлять тренды и быстро обнаруживать отклонения от целевых значений, что критически важно при управлении качеством в условиях изменяющихся требований и технологических условий [2]. Во-вторых, интеграция когнитивных карт с системами бизнес-аналитики и визуализации данных дает возможность руководству принимать оперативные решения по корректировке стратегии управления качеством, будь то изменение уровня обучения персонала, оптимизация архитектурных решений или перераспределение ресурсов [8]. В-третьих, динамическая модель, построенная на основе итеративных расчетов, позволяет оценить, насколько эффективны уже принятые меры и когда требуется вмешательство для восстановления или повышения уровня качества.

Практическое применение мониторинга на базе когнитивных карт показало, что

при регулярном анализе и сравнении итоговых показателей можно достичь устойчивости системы на требуемом уровне качества. Например, если целевой показатель функциональной пригодности С1 установлен на уровне 0,9, то своевременное выявление тенденций к снижению этого показателя позволяет скорректировать управление изменениями (например, усилить обучение персонала или оптимизировать архитектурные решения), что способствует оперативному достижению и поддержанию целевого уровня [5]. Более того, такой мониторинг способствует раннему обнаружению узких мест и позволяет минимизировать негативное влияние факторов, чьи значения могут изменяться непредсказуемо.

Таким образом, когнитивные карты в режиме мониторинга являются мощным инструментом для постоянного контроля и адаптивного управления качеством ПО. Они обеспечивают прозрачность изменений, позволяют вовремя корректировать стратегию и оперативно реагировать на возникающие отклонения, что подтверждается результатами современных исследований [2; 8].

Заключение

Когнитивные карты представляют собой удобный и строгий инструмент для формализации взаимосвязей между характеристиками качества программного обеспечения, описанными в стандарте ГОСТ Р ИСО/МЭК 25010 – 2015. Метод анализа иерархий позволяет количественно определить весовые коэффициенты, исключая нечеткие формулировки, и дает возможность точно агрегировать экспертные оценки. Статическая модель обеспечивает моментальный срез текущего состояния качества, а динамическое моделирование демонстрирует, как изменения управляемых факторов, таких как, например, навыки команды и архитектурная сложность, влияют на итоговое значение функциональной пригодности. Интеграция когнитивных карт в систему мониторинга поз-

воляет непрерывно отслеживать динамику показателей, выявлять отклонения от целевых значений и оперативно корректировать стратегию управления качеством. Приведенные расчеты для двух сценариев показывают, что повышение навыков команды разработчиков оказывается недостаточным для достижения целевого уровня показателя качества, в то время как комплексные меры позволяют добиться

требуемого показателя и поддерживать его. Таким образом, применение когнитивных карт в сочетании с МАИ и мониторингом является эффективным подходом при управлении качеством программных систем, а результаты анализа могут быть использованы для аудита, планирования улучшений и оптимизации проектных решений.

Список литературы

1. Гордиенко В. В., Лисицин А. Л. Технические и организационные методы борьбы с внутренними угрозами утечки информации организаций и предприятий // AUDITORIUM. – 2019. – № 4 (24). – С. 69–76.
2. Захарова А. А. Нечеткие когнитивные модели в управлении слабоструктурированными социально-экономическими системами // Информационные модели и технологии. – 2019. – Т. 21. – № 3. – С. 45–56.
3. Микрюков А. А. Актуальные задачи цифровой трансформации экономики РФ // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 4. – С. 65–68.
4. Микрюков А. А. Когнитивные технологии в системах поддержки принятия решений в цифровой экономике // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 6. – С. 127–131.
5. Микрюков А. А., Мазуров М. Е. Когнитивная модель сценарного прогнозирования основных векторов интернационализации деятельности университета // Нейроинформатика-2020 : сборник научных трудов. XXII Международная научно-техническая конференция. – М., 2020. – С. 232–241.
6. Пермякова Н. В., Ехлаков Ю. П. Нечеткая модель оценки рейтинга рискообразующих факторов программного проекта // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2016) : материалы XIII Международной научно-технической конференции, 3–6 октября 2016 г. – Новосибирск : Изд-во Новосиб. гос. технического ун-та, 2016. – Т. 8. – С. 67–71.
7. Пермякова Н. В., Усачева П. И., Реннер В. О. Когнитивное моделирование в управлении рисками программных проектов // Электронные средства и системы управления : материалы XII Международной научно-практической конференции, 16–18 ноября 2016 г. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2016. – С. 108–110.
8. Рябинин И. Р., Соловьев А. В., Кузнецов А. В. Нечеткие когнитивные карты в анализе надежности систем // Надежность. – 2018. – № 2. – С. 22–29.

References

1. Gordienko V. V., Lisitsin A. L. Tekhnicheskie i organizatsionnye metody borby s vnutrennimi ugrozami utechki informatsii organizatsiy i predpriyatiy [Technical and Organizational Methods of Struggling with Internal Threats of Information Leakage in Organizations and Enterprises]. AUDITORIUM, 2019, No. 4 (24), pp. 69–76. (In Russ.).
2. Zakharova A. A. Nechetkie kognitivnye modeli v upravlenii slabostrukturirovannymi sotsialno-ekonomicheskimi sistemami [Fuzzy Cognitive Models in Managing Semi-Structured Social and Economic Systems]. Informatsionnye modeli i tekhnologii [Information Models and Technologies], 2019, Vol. 21, No. 3, pp. 45–56. (In Russ.).

3. Mikryukov A. A. Aktualnye zadachi tsifrovoy transformatsii ekonomiki RF [Acute Goals of Digital Economy Transformation in RF]. *Innovatsii i investitsii* [Innovation and Investment], 2018, No. 4, pp. 65–68. (In Russ.).

4. Mikryukov A. A. Kognitivnye tekhnologii v sistemakh podderzhki prinyatiya resheniy v tsifrovoy ekonomike [Cognitive Technologies in Systems of Decision-Making Support in Digital Economy]. *Innovatsii i investitsii* [Innovation and Investment], 2018, No. 6, pp. 127–131. (In Russ.).

5. Mikryukov A. A., Mazurov M. E. Kognitivnaya model stsenarnogo prognozirovaniya osnovnykh vektorov internatsionalizatsii deyatel'nosti universiteta [Cognitive Model of Scenario Forecasting of Key Vectors in University Work Internationalization]. *Neyroinformatika-2020: sbornik nauchnykh trudov. XXII Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya* [Neuro-Information Science-2020: collection of academic works. The 22nd International Conference]. Moscow, 2020, pp. 232–241. (In Russ.).

6. Permyakova N. V., Ekhlakov Yu. P. Nechetkaya model otsenki reytinga risikoobrazuyushchikh faktorov programmnoy proekta [Fuzzy Model of Rating Estimation of Risk-Causing Factors in Program Project]. *Aktualnye problemy elektronnoy priborostroeniya (APEP-2016): materialy XIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, 3–6 oktyabrya 2016 g.* [Acute Problems of E-Machine-Building (APEP-2016): materials of the 13th International Conference, 3–6 October, 2016]. Novosibirsk, Publishing house of the Tomsk State University of Management Systems and radio-Electronics, 2016, Vol. 8, pp. 67–71. (In Russ.).

7. Permyakova N. V., Usacheva P. I., Renner V. O. Kognitivnoye modelirovaniye v upravlenii riskami programmnykh proektov [Cognitive Modeling in Risk Management of Program Projects]. *Elektronnye sredstva i sistemy upravleniya: materialy XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 16–18 noyabrya 2016 g.* [E-Means and Systems of Management: materials of the 12th International Conference, 16–18 November, 2016]. Tomsk, Publishing house of the Tomsk State University of Management Systems and radio-Electronics, 2016, pp. 108–110. (In Russ.).

8. Ryabinin I. R., Solov'ev A. V., Kuznetsov A. V. Nechetkie kognitivnye karty v analize nadezhnosti sistem [Fuzzy Cognitive Maps in Analyzing System Reliability]. *Nadezhnost* [Reliability], 2018, No. 2, pp. 22–29. (In Russ.).

Поступила: 10.02.2025

Принята к печати: 24.03.2025

Сведения об авторе

Александр Андреевич Дрожкин
соискатель кафедры прикладной информатики и информационной безопасности РЭУ им. Г. В. Плеханова.
Адрес: ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова», 109992, Москва, Стремянный пер., д. 36.
E-mail: morgfrimen@yandex.ru

Information about the author

Aleksandr A. Drozhkin
Candidate of the Department for Applied Informatics and Information Security of the PRUE.
Address: Plekhanov Russian University of Economics, 36 Stremyanny Lane, Moscow, 109992, Russian Federation.
E-mail: morgfrimen@yandex.ru