

УДК 004.413

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ УСПЕХА И ДЕЙСТВИЙ В ПРОЕКТАХ DevOps С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Е. И. Левадный*, Р. М. Романов**

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, 115409, Россия

*e-mail: egorlevadny2002@gmail.com

**e-mail: Rodion.Romanov.M@yandex.com

Поступила в редакцию: 08.10.2024

После доработки: 09.11.2024

Принята к публикации: 12.11.2024

В быстро развивающейся области разработки программного обеспечения компании все чаще используют парадигму DevOps для повышения скорости и качества. Однако управление процессами DevOps сопряжено со значительными трудностями. Несмотря на то, что свод знаний по управлению проектами (РМВОК) предоставляет лучшие практики, не зависящие от отрасли, существует пробел в понимании практической осуществимости достижения ее факторов успеха в рамках проектов DevOps. Цель исследования – выявить ключевые факторы успеха в управлении ИТ-проектами DevOps, которые считаются важными, но не всегда реализуются на практике. Проведен анкетный опрос с использованием теории нечетких множеств и метода анализа нечеткой иерархии для решения многокритериальных задач принятия решений. В результате анализа был составлен ранжированный список действий, в котором были выделены две группы: действия, которыми пренебрегают, и действия, которым уделяется больше внимания, чем требуется. Эти результаты указывают на несоответствия между признанными факторами успеха и реальной практикой управления. Устранение этих несоответствий имеет решающее значение для повышения эффективности управления проектами DevOps, оптимизации распределения ресурсов и улучшению показателей успешности проектов. Эти выводы служат основой для разработки стратегий, которые лучше интегрируют принципы РМВОК в процессы DevOps.

Ключевые слова: DevOps, РМВОК, нечеткие множества, треугольные нечеткие множества, Fuzzy АНР, принятие многокритериальных решений.

DOI: 10.26583/vestnik.2024.6.5

EDN PNKKFF

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире, характеризующемся стремительными изменениями и постоянным ростом требований, где скорость и качество разработки программного обеспечения играют решающую роль, все большее количество компаний решает перейти на парадигму DevOps. Однако эти организации сталкиваются с различными сложностями при управлении процессами DevOps [1].

Свод знаний по управлению проектами (РМВОК) – это всеобъемлющая коллекция рекомендаций и лучших практик по управлению проектами, не зависящих от отрасли. Он устанавливает общий язык и методологию управления проектами в различных отраслях [2]. Учитывая, что DevOps – основа для процессов разработки

программного обеспечения, руководители проектов могут использовать области знаний РМВОК для эффективного контроля проектов по разработке программного обеспечения, в которых применяется методология DevOps [3]. Применяя принципы РМВОК, руководители проектов могут повысить свою способность управлять инициативами по разработке программного обеспечения на основе DevOps [4].

DevOps способствует развитию культуры сотрудничества между группами разработки и эксплуатации, уделяя особое внимание таким практикам, как непрерывная интеграция и непрерывное развертывание, для оптимизации рабочих процессов [5]. Несмотря на свои преимущества, эффективное управление процессами DevOps сопряжено со значительными трудностями. Организации часто сталкиваются с такими препят-

ствиями, как культурное сопротивление изменениям, недостаточный набор навыков и сложности с интеграцией инструментов [6–8].

Ограниченное количество исследований сосредоточено на практической реализации факторов успеха РМВОК в среде DevOps, особенно в отношении необходимых действий и их последствий для ресурсов [9]. Решение этих проблем имеет решающее значение для того, чтобы организации могли в полной мере реализовать преимущества DevOps, придерживаясь при этом установленных стандартов управления проектами.

Существуют критерии (факторы успеха согласно РМВОК), которые обеспечивают успех проекта для менеджера или организации, и повышают вероятность реализации проекта. Есть исследования, например [10], которые посвящены выявлению и ранжированию данных критериев, но нет исследований, которые направлены на достижимость данных факторов с уклоном на практическую реализуемость. В действительности может оказаться, что действия, приводящие к этим факторам, являются невыполнимыми или чрезмерно ресурсозатратными. В данной работе планируется выявить несоответствие факторов успеха и реальных действий, которые люди готовы предпринимать.

Результаты данного исследования предполагается использовать в качестве основы для разработки эффективных стратегий управления процессами DevOps. Цель исследования заключается в выявлении ключевых факторов успеха в управлении IT-проектами DevOps, которые считаются важными, однако на практике методы их достижения не всегда применяются.

В ходе работы проведен опрос и получен ранжированный список действий, необходимых для реализации факторов успеха, а также выявлены две группы:

- действия, которыми пренебрегают;
- действия, которым уделяется большее внимание, чем требуется.

Статья состоит из трех разделов. В разд. 1 представлены методы исследования: теория нечетких множеств и подход к решению многокритериальных задач методом нечеткого анализа иерархий, анкетный опрос. Разд. 2 содержит результаты опроса, а именно портрет респондента и подготовленный список соответствий факторов успеха и действий, и результаты расчета весов и рангов для каждой области знаний РМВОК. В разд. 3 обсуждаются полученные результаты, а также выявленные группы несоответствия факторов успеха и действий.

1. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Нечеткие множества

Применение метода нечеткого иерархического анализа (Fuzzy AHP) в данной статье обосновано необходимостью ранжирования действий, направленных на достижение ключевых факторов успеха в рамках управления проектами по методологии DevOps. Основное преимущество Fuzzy AHP заключается в его способности учитывать неопределенность экспертных оценок. В условиях неопределенности суждений метод позволяет обрабатывать нечеткие данные, что особенно актуально при использовании таких лингвистических переменных, как «эквивалентный» или «более важный». Это способствует более точному учету мнений экспертов и повышает достоверность получаемых выводов [11]. Однако метод Fuzzy AHP также сталкивается с ключевой проблемой всех многокритериальных подходов – субъективностью экспертных оценок. В качестве альтернативы можно было бы рассмотреть такие методы многокритериальной оптимизации, как TOPSIS или метод анализа полезности, которые также применимы для решения задач в условиях неопределенности [12]. Однако они менее приспособлены для работы с нечеткими данными и неопределенностью [13].

1.1.1. Треугольные нечеткие числа

Определение 1. Обозначим $A \in F(R)$ которое называется *нечетким числом*, если:

- существует такой $x_0 \in R$, что $\mu_A(x_0) = 1$
- для любого $a \in [0, 1]$

$$A_a = [x, \mu_A(x) \geq a]. \quad (1)$$

Нечеткое число определяется как нечеткое множество A на множестве действительных чисел R .

Определение 2. Определим нечеткое число M на множестве действительных чисел R , как треугольное нечеткое число, функция принадлежности которого $\mu_M(x): R \rightarrow [0, 1]$ определяется следующим равенством:

$$\mu_M(x) = \begin{cases} \frac{x}{m-l} - \frac{l}{m-l}, & x \in [l, m], \\ \frac{x}{m-l} - \frac{l}{m-u}, & x \in [m, u], \\ 0, & \text{в другом случае} \end{cases}, \quad (2)$$

где $l < m < u$, l и u означают нижнее и верхнее значение нечеткого числа (степень размытости числа) M , а m – модальное значение. Треугольное нечеткое число можно обозначить через $M(l, m, u)$. Нечеткое число состоит из элементов, когда выполняется следующее условие $\{x \in R | l < x < u\}$, но если $l = m = u$, то это условное число является четким.

Пусть даны два треугольных нечетких числа $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ и $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$. Для этих чисел справедливы следующие правила:

$$(l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2), \quad (3)$$

$$(l_1, m_1, u_1) \odot (l_2, m_2, u_2) = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2), \quad (4)$$

$$(l, m, u)^{-1} = \left(\frac{1}{u}, \frac{1}{m}, \frac{1}{l} \right). \quad (5)$$

1.1.2. Оценка нечеткой степени соответствия

Процесс оценки степени соответствия сводится к нахождению наилучшего решения среди множества целей, которые могут вступать в противоречие между собой. Например, есть некоторый набор планов $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ и $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, являющийся набором целей, где $U = \{u_1, u_2\}$ может быть представлена, как u_1 – необходимая цель, а u_2 – достижимая цель. Согласно предложенному Чангом подходу необходимо произвести оценку степени соответствия каждого плана для каждой цели [14, 15]. Представим это в виде набора нечетких треугольных чисел:

$$M_{E_i}^1, M_{E_i}^2, \dots, M_{E_i}^m \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

Определение 3. Пусть $M_{E_i}^1, M_{E_i}^2, \dots, M_{E_i}^m$ значения оценок степени соответствия i -го плана для m целей. Тогда значение степени соответствия i -го плана определяется как:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{E_i}^j \odot \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{E_i}^j \right]^{-}. \quad (7)$$

В формуле применяются алгебраические операции из формул (3) и (4).

1.1.3. Метод представления нечетких чисел для шкалы парных сравнений

Первым шагом является использование метода анализа нечетких иерархий – определить относительную важность каждой пары факторов в одной иерархии. Используя треугольные нечеткие числа в парных сравнениях, строится нечеткая оценочная матрица:

$$A = (a_{ij})_{n \times m}. \quad (8)$$

Например, если элемент i существенно или значительно важнее элемента j по определенному критерию, тогда $a_{ij}(l, m, u)$, где l и u представляют собой нечеткую степень высказывания. Чем больше разница $u - l$, тем более размыто высказывание; когда $u - l = 0$, высказывание можно считать четким, следовательно число не является нечетким, а равно m для данного примера. Если элемент j значительно важнее элемента i , тогда парная шкала сравнения может быть представлена нечетким числом:

$$a_{ij}^{-1} = \left(\frac{1}{u}, \frac{1}{m}, \frac{1}{l} \right). \quad (9)$$

В формуле (9) применяются операция из формулы (5).

1.1.4. Вычисление векторов приоритетов для метода нечеткого анализа иерархий

Пусть $A = (a_{ij})_{n \times m}$ будет нечеткая матрица попарных сравнений, где $a_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$, а параметры представляются в виде

$$l_{ij} = \frac{1}{u_{ji}}, \quad m_{ij} = \frac{1}{m_{ji}}, \quad u_{ij} = \frac{1}{l_{ji}}. \quad (10)$$

Для получения оценки векторов весов по каждому критерию необходимо:

- определять наименьшее и наибольшее нечеткое значение из множества нечетких чисел, используя операции $\min$ и $\max$;
- определять наименьшее и наибольшее нечеткое число.

Для определения наименьшего и наибольшего треугольного нечеткого числа необходимо сравнить вероятность принадлежности каждого треугольного нечеткого числа к нечеткому множеству, основываясь на следующих выражениях:

$$P(M_1 \geq M_2) = 1, \text{ если } m_1 \geq m_2, \quad (11)$$

$$P(M_2 \geq M_1) = \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - u_1)}, \quad (12)$$

если $m_1 \geq m_2$.

Для сравнения нечетких треугольных чисел M_1 и M_2 мы должны вычислять их вероятности $P(M_1 \geq M_2)$ и $P(M_2 \geq M_1)$. Далее рассмотрим сравнение того, что степень принадлежности одного нечеткого треугольного числа будет больше, чем k других нечетких треугольных чисел $M_i (i = 1, 2, \dots, k)$, основываясь на вычислении минимума из степеней $P(M \geq M_i)$, т.е. вероятности того, что M больше, чем каждое M_i .

Теперь определим весовой вектор W' , который рассчитывается по формулам:

$$d'(A_i) = \min P(S_i \geq S_k), \quad (13)$$

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T. \quad (14)$$

Следующий шаг – нормализация полученного вектора:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T. \quad (15)$$

1.2. Анкетный опрос

Для ранжирования действий, было проведено исследование с участием экспертов. Мы использовали анкетный опрос, поскольку он является эффективным способом сбора данных от целевой группы. Ниже рассматриваются этапы исследования:

- 1) экспертное составление списка действий для каждого фактора успеха. Результаты представлены в табл. 1;
- 2) проведение опроса среди группы экспертов;
- 3) анализ полученных результатов.

Таблица 1. Список соответствий фактора успеха и действия для его достижения

№	Фактор успеха	Действие
Д1.1	Координация взаимодействия между командами DevOps	Формирование культуры сотрудничества между командами
Д1.2	Четкие каналы коммуникации	Разработка эффективных способов общения в команде
Д1.3	Стратегии обмена знаниями	Назначение опытных сотрудников менторами для новичков
Д1.4	Открытость и доступность информации в команде	Регулярные встречи и обсуждения
Д2.1	Выполнение количественного анализа рисков	Регулярное проведение оценки рисков с использованием соответствующих методик и инструментов
Д2.2	Внедрение мер реагирования на риски	Разработка и обновление методов реагирования на риски, а также проведение учений и тренировок
Д2.3	Составление плана управления рисками	Создание и регулярное обновление плана управления рисками
Д3.1	Политика закупок	Ведение реестра лицензированного ПО
Д3.2	Планы и графики закупок и учета сроков службы оборудования и ПО для их своевременного обновления	Ведение учета сроков службы оборудования и ПО для их своевременного обновления
Д3.3	Надежная структура поддержки	Выстраивание процессов по долгосрочной поддержке реализуемого ПО клиентам
Д4.1	Применение правильного подхода к 3Р (люди, процессы и партнеры)	Регулярная оценка и оптимизация работы сотрудников и рабочих процессов
Д4.2	Оценивание ресурсов для деятельности	Оценка уровня адаптаций технологий в организации
Д4.3	Привлечение лучших кадров для выполнения работ	Регулярный анализ потребностей в кадрах и разработка стратегии привлечения и удержания лучших сотрудников
Д4.4	Методика распределения рабочего времени	Разработка и регулярное обновление методики оптимизации человеческих ресурсов
Д4.5	Управление распределенными по организациям DevOps командами	Разработка и регулярное обновление стратегии управления распределенными командами
Д5.1	Проектирование базовой DevOps инфраструктуры с использованием стандартных инструментов	Разработка и регулярное обновление базовой DevOps инфраструктуры

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ УСПЕХА И ДЕЙСТВИЙ В ПРОЕКТАХ DevOps С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Продолжение табл. 1

Д5.2	Инструменты и автоматизация для дальнейшей интеграции	Разработка и регулярное обновление стратегии интеграции
Д5.3	Замыкание цикла между мониторингом и планированием	Ежемесячное проведение совещаний для анализа данных мониторинга и корректировки планов
Д5.4	Планирование потребностей ИТ-инфраструктуры	Проведение регулярной оценки потребности в инфраструктуре, а также планирование и мониторинг ее использования
Д6.1	Управление организационными и культурными изменениями	Разработка и регулярное обновление стратегии управления культурными изменениями
Д6.2	Ожидания заинтересованных сторон и пороговые значения рисков	Анализ ожиданий заинтересованных лиц и рисков неудовлетворенности продуктом
Д6.3	Контроль и управление сроками при взаимодействии с заинтересованными сторонами	Разработка и регулярное обновление стратегии контроля и управления сроками
Д6.4	Коммуникации между заинтересованными сторонами	Разработка и регулярное обновление стратегии коммуникаций
Д6.5	Стратегии управления конфликтами	Разработка и регулярное обновление стратегии управления конфликтами
Д7.1	Оценка продолжительности работ	Проведение ежемесячного анализа проделанной работы
Д7.2	Владение информацией о текущем статусе работ в реальном времени	Использование инструментов полного отслеживания действий разработчика
Д7.3	Управление непрерывным процессом DevOps	Корректировка частот интеграции проектного кода
Д8.1	Установление требований к выполняемой работе	Проведение регулярного анализа и оценки требований к выполняемой работе, а также разработка и согласование соответствующих документов
Д8.2	Определение MVP продукта	Проведение регулярного анализа и оценки потребностей клиентов и рынка, а также разработка и согласование концепции MVP продукта
Д8.3	Установление плана выполняемых работ	Разработка и регулярное обновление плана выполняемых работ
Д9.1	Разработка стандартов оценки и улучшения качества	Разработка и регулярное обновление стандартов оценки и улучшения качества
Д9.2	Планируемые мероприятия по контролю качества и управлению качеством в системе DevOps	Разработка и регулярное обновление плана контроля и управления качеством DevOps
Д9.3	Дашборд контроля качества процессов DevOps	Создание централизованного дашборда для оценки качества процессов CI/CD
Д10.1	Прогнозы затрат на процессы разработки и управления операциями	Регулярное проведение оценки рентабельности инвестиций (ROI)
Д10.2	Отслеживание и контроль бюджетов в процессах разработки и управления операциями	Регулярное отслеживание и контроль бюджетов в процессах разработки и управления операциями
Д10.3	Анализ затрат и выгод для продолжения разработки и управления операциями	Проведение регулярного анализа и оценки затрат на процессы разработки и управления операциями, а также разработка и согласование прогнозов затрат

2. РЕЗУЛЬТАТЫ

2.1. Результаты анкетного опроса

Был проведен анкетный опрос среди десяти экспертов в области информационных технологий и DevOps. Для составления портрета респондента мы собрали данные по организации, должности и опыту работы. Результаты представлены

на рис. 1. Размер организации классифицируется, согласно федеральному закону от 24.07.2007 N 209-ФЗ (ред. от 29.05.2024) «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации», а именно малое предприятие (16–100 сотрудников), среднее предприятие (101–250 сотрудников) и крупное предприятие (больше 251 сотрудника).

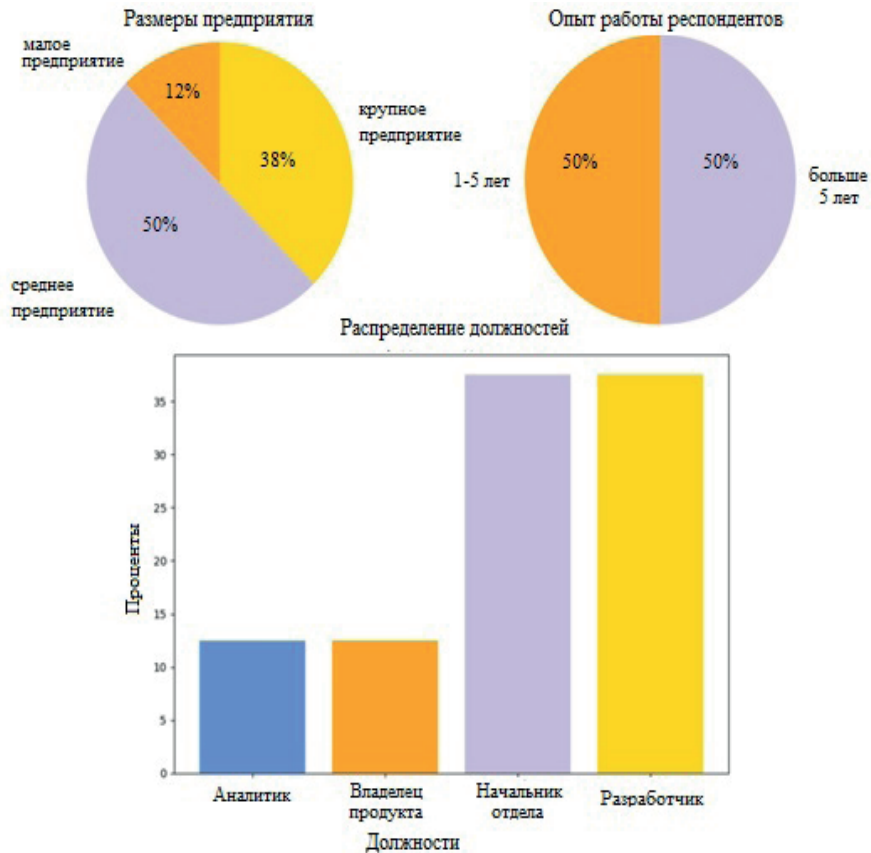


Рис. 1. Основная информация о респондентах

2.2. Результаты применения метода нечеткого иерархического анализа (Fuzzy AHP)

Для работы с нечеткими числами необходимо использовать лингвистические переменные из шкалы Ликерта, которые мы сопоставили для каждого нечеткого треугольного числа, как показано в табл. 2.

Для каждой области знаний из РМВОК мы составили матрицу попарных сравнений действий, используя формулу (8), комбинируя результаты ответов респондентов в один. Пример такой ма-

трицы для области знаний «Интеграция» представлен на табл. 3.

Для оценки степени соответствия каждого действия в области знаний, связанной с управлением проектом DevOps, мы применили формулу (7). Промежуточные результаты для области знаний «Интеграция» представлены в формулах:

$$\begin{aligned}
 S(D1.1) &= \\
 &= (4.03, 5.01, 6.17) * (1/20.44, 1/16.77, 1/13.85) = \\
 &= (0.20, 0.30, 0.45), \quad (16)
 \end{aligned}$$

Таблица 2. Шкала преобразования треугольных нечетких чисел

Лингвистическая переменная	Треугольное нечеткое число	Обратное треугольное нечеткое число
Эквивалентный	(2/3, 1, 3/2)	(2/3, 1, 3/2)
Не менее важный	(1, 1.5, 2)	(1/2, 1/1.5, 1)
Слабо важный	(1.5, 2, 2.5)	(1/2.5, 1/2, 1/1.5)
Сильно важный	(2, 2.5, 3)	(1/3, 1/2.5, 1/2)
Более важный	(2.5, 3, 3.5)	(1/3.5, 1/3, 1/2.5)
Абсолютно более важный	(3, 3.5, 4)	(1/4, 1/3.5, 1/3)

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ УСПЕХА И ДЕЙСТВИЙ В ПРОЕКТАХ DevOps С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Таблица 3. Матрица попарных сравнений действий для области знаний «Интеграция»

Действие	Формирование культуры сотрудничества между командами	Разработка эффективных способов общения в команде	Назначение опытных сотрудников менторами для новичков	Регулярные встречи и обсуждения
Формирование культуры сотрудничества между командами	(1.0000, 1.0000, 1.0000)	(1.1042, 1.4333, 1.8125)	(1.0104, 1.3274, 1.7292)	(0.9167, 1.2458, 1.6250)
Разработка эффективных способов общения в команде	(0.5517, 0.6977, 0.9057)	(1.0000, 1.0000, 1.0000)	(1.3625, 1.6958, 2.0833)	(1.0649, 1.4167, 1.8208)
Назначение опытных сотрудников менторами для новичков	(0.5783, 0.7534, 0.9897)	(0.4800, 0.5897, 0.7339)	(1.0000, 1.0000, 1.0000)	(1.0417, 1.3708, 1.7500)
Регулярные встречи и обсуждения	(0.6154, 0.8027, 1.0909)	(0.5492, 0.7059, 0.9391)	(0.5714, 0.7295, 0.9600)	(1.0000, 1.0000, 1.0000)

$$\begin{aligned}
 S(D1.2) &= \\
 &= (3.98, 4.81, 5.81) * (1/20.44, 1/16.77, 1/13.85) = \\
 &= (0.19, 0.29, 0.42), \quad (17)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S(D1.3) &= \\
 &= (3.10, 3.71, 4.47) * (1/20.44, 1/16.77, 1/13.85) = \\
 &= (0.15, 0.22, 0.32), \quad (18)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S(D1.4) &= \\
 &= (2.74, 3.24, 3.99) * (1/20.44, 1/16.77, 1/13.85) = \\
 &= (0.13, 0.19, 0.29). \quad (19)
 \end{aligned}$$

Далее был расчет вероятности соответствия нечетких чисел по формулам (11) и (12). Результаты для области знаний «Интеграция» представлены на рис. 2.

Следующий шаг – определение весового вектора и его нормализация согласно формулам (13), (14) и (15). Для получения глобального веса каждого действия необходимо умножить полученный локальный вес на вес соответствующей области знаний. Итоговые результаты расчетов для всех областей знаний представлены в табл. 4.

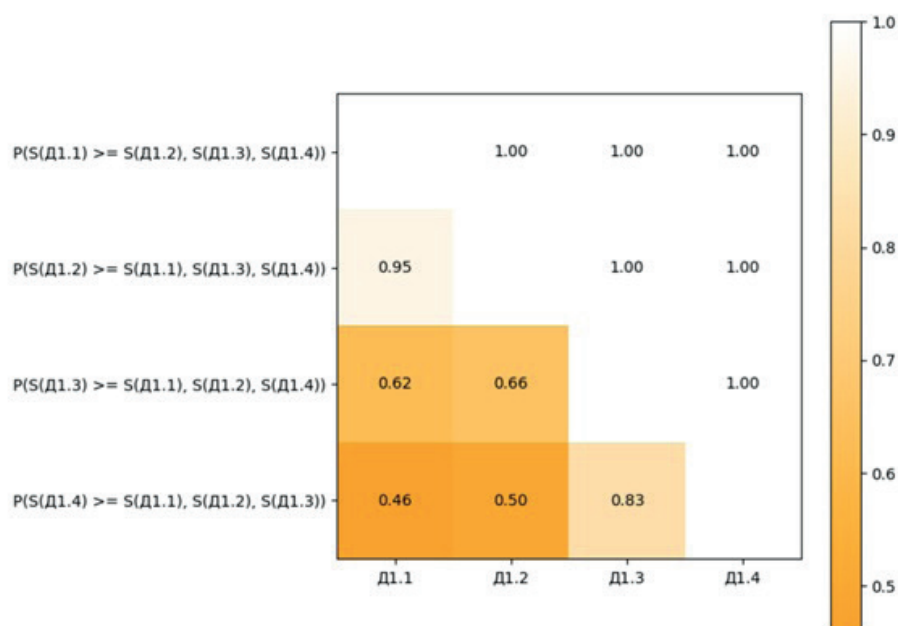


Рис. 2. Тепловая карта, отражающая матрицу вероятности соответствия нечетких чисел для области знаний «Интеграция»

Таблица 4. Результаты расчета весов и рангов для каждой области знаний РМВОК

Область знаний	Вес области знаний	Действие	Локальный вес	Локальный ранг	Глобальный вес	Глобальный ранг
Коммуникация	0.0567	Д1.1	0.3297	1	0.0187	10
		Д1.2	0.3132	2	0.0178	12
		Д1.3	0.2045	3	0.0116	27
		Д1.4	0.1527	4	0.0087	31
Риски	0.0783	Д2.1	0.4256	1	0.0333	3
		Д2.2	0.3751	2	0.0294	4
		Д2.3	0.1994	3	0.0156	17
Поставки	0.0463	Д3.1	0.2747	3	0.0127	26
		Д3.2	0.4415	1	0.0204	7
		Д3.3	0.2839	2	0.0131	23
Человеческие ресурсы	0.0512	Д4.1	0.2627	2	0.0134	22
		Д4.2	0.1637	4	0.0084	32
		Д4.3	0.269	1	0.0138	21
		Д4.4	0.1119	5	0.0057	34
		Д4.5	0.1927	3	0.0099	30
Интеграция	0.0727	Д5.1	0.3749	1	0.0272	5
		Д5.2	0.2295	2	0.0167	13
		Д5.3	0.2194	3	0.0159	16
		Д5.4	0.1762	4	0.0128	25
Заинтересованные лица	0.0518	Д6.1	0.2209	3	0.0114	28
		Д6.2	0.3207	1	0.0166	15
		Д6.3	0.2521	2	0.0131	24
		Д6.4	0.1167	4	0.006	33
		Д6.5	0.0895	5	0.0046	35
Сроки	0.0705	Д7.1	0.6933	1	0.0488	1
		Д7.2	0	3	0	36
		Д7.3	0.3067	2	0.0216	6
Содержание	0.0507	Д8.1	0.2771	3	0.014	18
		Д8.2	0.394	1	0.02	9
		Д8.3	0.3288	2	0.0167	14
Качество	0.0528	Д9.1	0.2638	3	0.0139	20
		Д9.2	0.3825	1	0.0202	8
		Д9.3	0.3537	2	0.0187	11
Стоимость	0.0615	Д10.1	0.611	1	0.0375	2
		Д10.2	0.2275	2	0.014	19
		Д10.3	0.1615	3	0.0099	29

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

После анализа полученных результатов выделено несколько групп действий. В первую очередь рассмотрены действия, которыми пренебрегают для достижения успеха проекта. Список таких действий представлен в табл. 5.

Например, в области знаний «Человеческие ресурсы» находятся два важнейших фактора

успеха с рангами 1 и 7 («Методика распределения рабочего времени» и «Применение правильного подхода к ЗР (люди, процессы и партнеры)»), а действия, которые готовы совершать для их выполнения имеют ранги 34 и 22, соответственно. Причиной этих расхождений может быть то, что на практике они требуют осознанного подхода к принятию решений, больших трудозатрат или сложно выполнимы.

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ УСПЕХА И ДЕЙСТВИЙ В ПРОЕКТАХ DevOps С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Таблица 5. Список действий, которыми пренебрегают для достижения успеха проекта

Область знаний	Ранг фактора успеха	Фактор успеха	Действие	Ранг действия
Коммуникация	17	Открытость и доступность информации в команде	Регулярные встречи и обсуждения	31
Человеческие ресурсы	7	Применяйте правильный подход к 3Р (люди, процессы и партнеры)	Регулярная оценка и оптимизация работы сотрудников и рабочих процессов	22
	15	Оценивание ресурсов для деятельности	Оценка уровня адаптации технологий в организации	32
	1	Методика распределения рабочего времени	Разработка и регулярное обновление методики оптимизации человеческих ресурсов	34
Интеграция	10	Замыкание цикла между мониторингом и планированием	Ежемесячное проведение совещаний для анализа данных мониторинга и корректировки планов	16
Сроки	8	Владение информацией о текущем статусе работ в реальном времени	Использование инструментов полного отслеживания действий разработчика	36

Следующая группа показывает список действий, которым уделяется большее внимание, чем следует согласно исследованию [10]. Однако серым цветом в табл. 6 выделены две области знаний, которым необходимо уделять особое

внимание ввиду геополитических и культурных особенностей. Ранги остальных действий не выделяются, степень их важности примерно совпадает с соответствующим им факторам успеха.

Таблица 6. Список действий, которым уделяется большее внимание, чем требуется

Область знаний	Фактор успеха	Ранг фактора успеха	Действие	Ранг действия
Заинтересованные лица	Ожидания заинтересованных сторон и пороговые значения рисков	27	Анализ ожиданий заинтересованных лиц и рисков неудовлетворенности продуктом	15
Сроки	Управление непрерывным процессом DevOps	12	Корректировка частот интеграции проектного кода	6
Стоимость	Отслеживание и контроль бюджетов в процессах разработки и управления операциями	27	Регулярное отслеживание и контроль бюджетов в процессах разработки и управления операциями	19
Риски	Выполнение количественный анализ рисков	26	Регулярное проведение оценки рисков с использованием соответствующих методик и инструментов	3
	Внедрение мер реагирования на риски	21	Разработка и обновление методов реагирования на риски, а также проведение учений и тренировок	4
	Составление плана управления рисками	9	Создание и регулярное обновление плана управления рисками	17
Качество	Разработка стандарты оценки и улучшения качества	28	Разработка и регулярное обновление стандартов оценки и улучшения качества	20
	Планируемые мероприятия по контролю качества и управлению качеством в системе DevOps	24	Разработка и регулярное обновление плана контроля и управления качеством DevOps	8
	Дашборд контроля качества процессов DevOps	26	Создание централизованного дашборда для оценки качества процессов CI/CD	11

Устранение этих расхождений необходимо для повышения эффективности управления проектами DevOps, оптимизации распределения ресурсов и улучшению показателей успешности проектов. Эти выводы служат основой для разработки стратегий, которые лучше интегрируют принципы РМВОК в процессы DevOps.

В дальнейшем мы видим необходимость в разработке нечеткой когнитивной карты (далее – НКК). Ее использование было бы полезным дополнением к исследованию, так как она может обеспечить наглядную визуализацию взаимодействий между факторами успеха и совершаемыми действиями при управлении DevOps-проектами. Это поможет лучше понять, как действия влияют на факторы, а также предсказать возможные последствия изменений в проекте. С помощью НКК можно построить модель, которая покажет, как последствия изменений при выполнении действий в одном факторе будут влиять на другие факторы и, в конечном итоге, на успех проекта. Это особенно полезно для анализа сценариев и предсказания результатов изменений в проекте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Liu S., Wu B., Meng Q. Critical affecting factors of IT project management // 2012 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering. IEEE, 2012. V. 1. P. 494–497.
2. Guide A. Project management body of knowledge (pmbok® guide) // Project Management Institute, 2001. V. 11. № 1. P. 7–8.
3. Левадный Е.И., Романов Р.М. Исследование интеграции управления проектами devops с РМВОК с использованием теории нечетких множеств. // Современные проблемы физики и технологий: Сборник тезисов докладов XI международной молодежной научной школы-конференции, Москва, 23–25 апреля 2024 года. Москва: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2024. С. 322–323.
4. Banica L., Radulescu M., Rosca D., Hagi A. Is DevOps another project management methodology? // Informatica Economica, 2017. V. 21. Iss. 3. P. 39–51.
5. Moez M. Mahmood R, Asifet H. et al. Comprehensive Analysis of DevOps: Integration, Automation, Collaboration, and Continuous Delivery // Bulletin of Business and Economics (BBE), 2024. V. 13. № 1. DOI : 10.61506/01.00253.
6. Bass L., Weber I., Zhu L. DevOps: A software architect's perspective. Addison-Wesley Professional, 2015. 425 p.
7. Erich F.M.A., Amrit C., Daneva M. A qualitative study of DevOps usage in practice // Journal of software: Evolution and Process, 2017. V. 29. Iss. 6. Article e1885. DOI: 10.1002/smr.1885.
8. Maroukian K., Gulliver S.R. Leading DevOps practice and principle adoption // arXiv preprint arXiv:2008.10515, 2020. DOI: 10.48550/arXiv.2008.10515.
9. Luz W.P., Pinto G., Bonifácio R. Adopting DevOps in the real world: A theory, a model, and a case study // Journal of Systems and Software, 2019. V. 157. P. 110384.
10. Akbar M.A. et al. DevOps project management success factors: A decision-making framework // Software: Practice and Experience, 2024. V. 54. Iss. 2. P. 257–280.
11. Dubois D., Prade H. Decision-making under fuzziness. in Gupta M.M., Pagade R.K., and Yager R.R. Advances in Fuzzy Set Theory and Applications. Elsevier/ North-Holland, 1979. P. 279–302.
12. Chen C.T. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment // Fuzzy sets and systems, 2000. V. 114. № 1. P. 1–9.
13. Mardani A., Jusoh A., Zavadskas E.K. Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications—Two decades review from 1994 to 2014 // Expert systems with Applications, 2015. V. 42. № 8. P. 4126–4148.
14. Chang D.Y. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP // European journal of operational research, 1996. V. 95. № 3. P. 649–655.
15. Chang D.Y. Extent analysis and synthetic decision // Optimization techniques and applications, 1992. V. 1. № 1. P. 352–355.

ANALYSIS OF SUCCESS FACTORS AND ACTIONS IN DevOps PROJECTS USING FUZZY SET THEORIES

E. I. Levadny^{}, R. M. Romanov^{**}*

National Research Nuclear University «MEPhI», 31 Kashirskoye highway, Moscow, 115409, Russia

^{}e-mail: egorlevadny2002@gmail.com*

*^{**}e-mail: Rodion.Romanov.M@yandex.com*

Received October 8, 2024; revised November 9, 2024; accepted November 12, 2024

In the rapidly evolving field of software development, companies are increasingly using the DevOps paradigm to improve speed and quality. However, managing DevOps processes comes with significant challenges. Although the Project Management Body of Knowledge (PMBOK) provides industry-independent best practices, there is a gap in understanding the feasibility of achieving its success factors in DevOps projects. The purpose of the study is to identify key success factors in IT DevOps project management that are considered important but are not always realized in practice. A questionnaire survey was conducted using fuzzy set theory and fuzzy hierarchy analysis method to solve multi-criteria decision making problems. The analysis resulted in a ranked list of actions, with two groups: actions that are neglected and actions that are given more attention than required. These results indicate inconsistencies between recognized success factors and actual management practices. Addressing these mismatches is critical to improving DevOps project management efficiency, optimizing resource allocation, and improving project success rates. These findings provide a basis for developing strategies that better integrate PMBOK principles into DevOps processes.

Keywords: DevOps, PMBOK, fuzzy sets, triangular fuzzy sets, Fuzzy AHP, multi-criteria decision making.

REFERENCES

1. Liu S., Wu B., Meng Q. Critical affecting factors of IT project management. 2012 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering. IEEE, 2012. Vol. 1, Pp. 494–497.
2. Guide A. Project management body of knowledge (pmbok® guide). Project Management Institute, 2001. Vol. 11. No. 1. Pp. 7–8.
3. Levadny E.I., Romanov R.M. [Study of the integration of DevOps project management with PMBOK using fuzzy set theory]. *Sovremennyye problemy fiziki i tekhnologii: Sbornik tezisov dokladov XI mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy shkoly-konferentsii*, Moskva, 23–25 aprelya 2024 goda [Proc. XI Int. Youth Scientific School-Conference «Modern Problems of Physics and Technology», Moscow, April 23–25, 2024]. Moscow: National Research Nuclear University MEPhI, 2024. Pp. 322–323 (in Russian).
4. Banica L., Radulescu M., Rosca D., Hagiu A. Is DevOps another project management methodology? *Informatica Economica*, 2017. Vol. 21. Iss. 3. Pp. 39–51.
5. Moez M., Mahmood R., Asifet H. et al. Comprehensive Analysis of DevOps: Integration, Automation, Collaboration, and Continuous Delivery. *Bulletin of Business and Economics (BBE)*, 2024. Vol. 13. No. 1. DOI: 10.61506/01.00253.
6. Bass L., Weber I., Zhu L. DevOps: A software architect's perspective. Addison-Wesley Professional, 2015. 425 p.
7. Erich F.M.A., Amrit C., Daneva M. A qualitative study of DevOps usage in practice. *Journal of software: Evolution and Process*, 2017. Vol. 29. Iss. 6. Article e1885. DOI: 10.1002/smr.1885.
8. Maroukian K., Gulliver S.R. Leading DevOps practice and principle adoption. arXiv preprint arXiv:2008.10515, 2020. DOI: 1.48550/arXiv.2008.10515.
9. Luz W.P., Pinto G., Bonifácio R. Adopting DevOps in the real world: A theory, a model, and a case study. *Journal of Systems and Software*, 2019. Vol. 157. Pp. 110384.
10. Akbar M.A. et al. DevOps project management success factors: A decision-making framework. *Software: Practice and Experience*, 2024. Vol. 54. Iss. 2. Pp. 257–280.
11. Dubois D., Prade H. Decision-making under fuzziness. in Gupta M.M., Pagade R.K., and Yager R.R. *Advances in Fuzzy Set Theory and Applications*. Elsevier/North-Holland, 1979. Pp. 279–302.
12. Chen C.T. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy sets and systems*, 2000. Vol. 114. No 1. Pp. 1–9.
13. Mardani A., Jusoh A., Zavadskas E.K. Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications—Two decades review from 1994 to 2014. *Expert systems with Applications*, 2015. Vol. 42. No. 8. Pp. 4126–4148.
14. Chang D.Y. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European journal of operational research*, 1996. Vol. 95. No. 3. Pp. 649–655.
15. Chang D.Y. Extent analysis and synthetic decision. *Optimization techniques and applications*, 1992. Vol. 1. No. 1. Pp. 352–355.