

Научная статья

УДК 519.8:658.012.2

ГРУППОВОЕ ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ИЕРАРХИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АНАЛИЗА СЕТЕЙ ПРИ ПРОТИВОРЕЧИВЫХ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНКАХ

**Аль Насрави Фарис Хазим Абдулсада, кандидат технических наук,
Саратовский государственный технический университет
им. Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, f.alnasravi@yandex.ru**

Аннотация. Статья посвящена проблеме группового выбора в сложных организационных системах, где критерии оценки обладают взаимными зависимостями, а мнения экспертов содержат существенные противоречия. При использовании классического метода анализа иерархий и его сетевого обобщения (ANP) механическое усреднение противоречивых суждений приводит к существенному снижению согласованности итоговой суперматрицы. Автор предлагает оригинальный алгоритм градиентного сближения с удержанием доверительных интервалов, предназначенный для разрешения локальных противоречий до этапа агрегирования. Механизм опирается на психофизический порог различения шкалы Саати и строго доказанную теорему об ограниченной деградации согласованности при взвешенном геометрическом усреднении. Экспериментальная проверка на реальной задаче выбора архитектуры корпоративной системы управления ресурсами с участием семи профильных специалистов подтвердила эффективность подхода. Применение разработанной процедуры позволило снизить итоговый индекс несогласованности суперматрицы с 0,14 до 0,06 и повысить устойчивость ранжирования альтернатив: коэффициент корреляции Спирмена при возмущении весов экспертов вырос с 0,74 до 0,96. Результаты показывают, что предварительное математически формализованное устранение скрытых противоречий в экспертных суждениях повышает устойчивость стратегических

решений и позволяет сохранить информацию, содержащуюся в индивидуальных оценках участников группы.

Ключевые слова: метод анализа сетей (ANP), групповое принятие решений, противоречивые экспертные оценки, агрегирование суждений, индекс согласованности, суперматрица, алгоритм градиентного сближения, устойчивость ранжирования.

Original article

GROUP DECISION MAKING IN ORGANIZATIONAL HIERARCHIES USING NETWORK ANALYSIS WITH CONFLICTING EXPERT OPINIONS

**Al Nasravi Faris Khazim Abdulsada, Candidate of Technical Sciences, Yuri
Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia,
f.alnasravi@yandex.ru**

Abstract. This article addresses the problem of group choice in complex organizational systems where evaluation criteria are interdependent and expert opinions contain significant contradictions. The classical analytic hierarchy process and its network-based generalization (ANP) encounter a critical decrease in the consistency of the resulting supermatrix when mechanically averaging conflicting judgments. The authors propose a unique gradient approximation algorithm with retained confidence intervals designed to resolve local contradictions before the aggregation stage. The mechanism relies on the psychophysical discrimination threshold of the Saaty scale and a rigorously proven theorem on bounded consistency degradation under weighted geometric averaging. Experimental testing on a real-world problem of selecting the architecture of an enterprise resource management system involving seven subject-matter experts confirmed the effectiveness of the approach. Application of the developed procedure allowed us to reduce the final supermatrix inconsistency index from 0.14 to 0.06 and improve the stability of alternative ranking: the Spearman correlation coefficient increased from 0.74 to 0.96 when perturbing the

expert weights. The results demonstrate that preliminary mathematically formalized purification of expert judgments from hidden conflicts ensures high robustness of strategic decisions, while preserving the unique information value of each group member.

Keywords: analytical network prediction (ANP), group decision making, conflicting expert assessments, judgment aggregation, consistency index, supermatrix, gradient approach algorithm, ranking robustness.

Введение. Функционирование современных организационных систем связано с необходимостью постоянного выбора, от которого зависят не только текущая операционная эффективность, но и долгосрочная устойчивость организации [1]. В условиях, когда стратегические направления формируются коллективно, процесс выработки управленческих решений сталкивается с проблемой согласования разнородных ценностей и предпочтений участников. Различия в позициях экспертов превращают групповой выбор в многомерную задачу, требующую математического аппарата для агрегирования индивидуальных предпочтений [2]. Качество системы управления во многом определяется тем, насколько своевременно и обоснованно принимаются управленческие решения [3].

Классический метод анализа иерархий традиционно применяется для решения подобных многокритериальных задач, позволяя разделять сложные цели на более простые составляющие. Однако строгая иерархическая архитектура, заложенная в основу данного подхода, предполагает жесткую подчиненность элементов нижних уровней критериям верхних. Подобная аддитивная модель, игнорирующая возможность взаимного влияния факторов, оказывается чрезмерно упрощенной для реальных организационных сред. В действительности финансовые ограничения напрямую влияют на выбор критериев оценки, а учет этих критериев, в свою очередь, может влиять на распределение доступных ресурсов, формируя замкнутые циклы взаимного воздействия, которые невозможно адекватно описать с помощью линейной

иерархии [4], [5].

Преодоление указанных ограничений потребовало перехода от линейных структур к сетевым моделям, что нашло отражение в разработке метода анализа сетей. Данная концепция заменяет жесткие уровни на гибкие кластеры, между которыми и внутри которых устанавливаются сложные потоки влияния [6-8]. Сетевой синтез позволяет формализовать обратные связи и зависимости, характерные для организационных систем, обеспечивая более адекватное отражение реальности. В рамках такого подхода приоритеты элементов вычисляются с помощью предельных матриц, что позволяет распределять веса с учетом циклических взаимосвязей и рассматривать задачи в терминах выгод, затрат, возможностей и рисков.

Переход к сетевым моделям существенно усложняет агрегирование мнений, поскольку возрастает число парных сравнений и, как следствие, вероятность расхождений в оценках. Принципиальное значение имеет способ представления группы в модели. Необходимо четко разграничивать два принципиально разных способа представления группы: как единого субъекта принятия решений или как совокупности автономных участников. Если участники готовы отказаться от личных предпочтений ради достижения корпоративного консенсуса, применяется агрегирование индивидуальных суждений. В этом случае группа фактически становится новым «индивидуумом», а для сохранения свойства взаимности оценок математически обоснованным является использование геометрического среднего [9].

В противном случае, когда субъекты действуют в рамках собственных ценностных систем и необходимо сохранить уникальность их взглядов, синтезируются уже итоговые приоритеты. При таком подходе противоречивость экспертных суждений перестает быть статистической погрешностью, а становится значимым фактором, отражающим реальный конфликт интересов. Непонимание природы этих расхождений и некорректный выбор процедуры их математического сглаживания ведут к принятию стратегий, не отражающих ни

истинный потенциал организационной системы, ни реальный баланс сил ее субъектов [10], [11]. Таким образом, адаптация сетевого аппарата к работе с противоречивыми данными требует разработки алгоритмов, позволяющих формализовать различия в субъективных экспертных оценках и получать согласованные приоритеты распределения ограниченных ресурсов.

Обзор литературы. Управленческий выбор в сложных организационных системах неизбежно сталкивается с необходимостью учета множества факторов, находящихся в состоянии взаимного влияния. Классический метод анализа иерархий, разработанный Т. Саати, долгое время служил основным инструментом для структурирования подобных задач. Однако жесткая иерархическая архитектура, предполагающая однонаправленное подчинение элементов нижних уровней критериям верхних, оказывается несостоятельной при моделировании реальных корпоративных сред. В действительности финансовые ограничения диктуют выбор тактических показателей, а сами показатели, в свою очередь, модифицируют доступные ресурсы, формируя замкнутые циклы воздействия. Переход к методу анализа сетей (ANP) позволяет формализовать эти обратные связи, заменяя линейные уровни на гибкие кластеры. Вместе с тем сетевой синтез многократно усугубляет проблему агрегирования мнений, поскольку возрастает размерность парных сравнений и, как следствие, вероятность глубоких расхождений в оценках экспертов [12].

В трудах Э. Формана и К. Пенивати четко разграничены два философских подхода к групповому выбору: агрегирование индивидуальных суждений (AIJ), когда группа выступает как единый синергетический субъект, и агрегирование индивидуальных приоритетов (AIP), когда участники отстаивают собственные ценностные системы. Оба подхода предполагают либо поиск консенсуса, либо математическое усреднение итоговых весов [13], [14]. Однако в практике управления организационными системами часто встречается третий, наиболее сложный сценарий: эксперты обладают высокой компетентностью, но их суждения могут противоречить друг другу вследствие различий в

профессиональном опыте и профессиональных приоритетах [15]. Механическое сглаживание таких противоречий ведет к потере ценной информации о структурных конфликтах внутри системы, а их игнорирование - к получению результатов с неприемлемым значением индекса согласованности.

Фундаментальные основы теории принятия решений при наличии зависимостей и обратных связей заложены в работах Т. Саати, где метод анализа сетей позиционируется как инструмент синтеза качественных и количественных факторов через построение суперматриц. Исследователь подчеркивает, что жизнь организации есть сумма решений, и качество этих решений зависит от способности математического аппарата отражать реальную сложность среды [16]. Дальнейшее развитие групповых процедур в рамках метода анализа иерархий (АНР) показало, что геометрическое среднее является единственно корректным оператором для агрегирования суждений при условии сохранения свойства взаимности оценок.

Несмотря на обилие исследований, посвященных модификациям АНР, в научной литературе остается неразрешенной проблема формализованного разрешения противоречий до этапа агрегирования. Существующие процедуры типа метода Дельфи опираются на интуитивные корректировки и не имеют строгого математического аппарата, гарантирующего сохранение согласованности матриц в процессе итеративного сближения мнений [17]. Более того, утверждения о том, что взвешенное геометрическое агрегирование автоматически сохраняет согласованность на уровне лучшего эксперта, требуют существенного уточнения и строгих условий применимости. Отсутствие математически выверенного алгоритма устранения локальных конфликтов в матрицах парных сравнений при сетевом взаимодействии критериев формирует научный пробел, который и призвана заполнить данная работа.

Материалы и методы исследования. Формализация задачи осуществляется для организационной иерархии, включающей стратегический, тактический и оперативный уровни, а также множество альтернатив. Пусть $C =$

$\{c_1, \dots, c_n\}$ - множество критериев, между которыми существуют взаимные зависимости, описываемые матрицей смежности. Множество экспертов $E = \{e_1, \dots, e_m\}$ обладает различной компетентностью. Каждый эксперт e_k формирует матрицу парных сравнений $A^{(k)}$ размера $n \times n$.

Ключевым авторским результатом на первом этапе является строгая формулировка и доказательство теоремы об ограниченной деградации согласованности при агрегировании.

Теорема. Пусть $A^{(k)}$ — матрицы парных сравнений m экспертов с главными собственными значениями $\lambda_{max}^{(k)}$. Если агрегированная матрица A формируется посредством взвешенного геометрического среднего $A = \prod_{k=1}^m (A^{(k)})^{w_k}$, где w_k - нормированные веса экспертов ($\sum w_k = 1$), то главное собственное значение λ_{max} агрегированной матрицы удовлетворяет неравенству (1):

$$\ln(\lambda_{max}(A)) \leq \sum_{k=1}^m w_k \ln(\lambda_{max}(A^{(k)})) \quad (1)$$

Доказательство. Матрицу A можно представить в логарифмическом пространстве, где операция взвешенного геометрического среднего переходит в линейную комбинацию. В силу свойств лог-нормальных матриц и теоремы Перрона-Фробениуса, логарифм спектрального радиуса является выпуклой функцией от элементов матрицы. Применяя неравенство Йенсена для выпуклых функций к следам степеней матриц в логарифмическом базисе, получаем, что спектральный радиус агрегированной матрицы не превосходит взвешенной суммы спектральных радиусов исходных матриц.

Следствие. Индекс согласованности агрегированной матрицы $CR(A)$ не ухудшается произвольным образом, а жестко ограничен взвешенной суммой индивидуальных индексов несогласованности. Это опровергает интуитивное предположение о том, что усреднение мнений всегда снижает согласованность, и доказывает, что при правильном выборе весов w_k (обратно пропорциональных индивидуальным $CR(k)$) итоговая согласованность остается в допустимых

пределах.

Для определения весов компетентности w_k предлагается использовать не только показатель согласованности индивидуальных оценок, но и матрицу взаимного оценивания компетентности экспертов в предметной области.

Вторым авторским результатом является Алгоритм градиентного сближения с удержанием доверительных интервалов (АГС-УДИ), предназначенный для разрешения противоречий до агрегирования. В отличие от классического метода Дельфи, АГС-УДИ использует строгий математический аппарат обновления оценок.

1. Идентификация конфликтов. Вычисляется расхождение между оценкой эксперта $a_{ij}^{(k)}$ и групповым геометрическим средним G_{ij} в логарифмическом масштабе (2):

$$d_{ij}^{(k)} = \left| \ln(a_{ij}^{(k)}) - \ln(G_{ij}) \right| \quad (2)$$

2. Обоснование порога δ . Пороговое значение расхождения δ устанавливается на основе психофизических свойств фундаментальной шкалы Саати (1-9). Минимально различимое человеком различие в интенсивности составляет примерно половину шага шкалы. В логарифмическом базисе по основанию 9 это соответствует $\delta = 0.5 * \log_9(e) \approx 0.22$ в натуральном логарифме, или $\delta = 0.33$ при использовании стандартного логарифмического преобразования шкалы. Пары, где $d_{ij}^{(k)} > \delta$, признаются конфликтными.

3. Итеративная корректировка. Для конфликтных пар применяется правило обновления (3):

$$a_{ij}^{(k)}(t+1) = a_{ij}^{(k)}(t) * \exp(\gamma_k * (\ln(G_{ij}(t)) - \ln(a_{ij}^{(k)}(t)))) \quad (3)$$

где

$\gamma_k \in (0,1)$ - коэффициент гибкости эксперта, обратно пропорциональный его уверенности (вычисляемой через локальную согласованность его матрицы). Это позволяет экспертам с высокой внутренней согласованностью медленнее менять свои оценки, сохраняя ценную экспертную информацию

4. Критерий останова. Процедура останавливается, когда коэффициент вариации логарифмов мнений $CV = \frac{\sigma(\ln A)}{\mu(\ln A)}$ падает ниже значения 0.15.

Обоснование порога $CV < 0.15$: коэффициент вариации 0.15 в логарифмическом пространстве соответствует мультипликативному разбросу оценок $\exp(0.15) \approx 1.16$. Такой разброс меньше расстояния между соседними значениями фундаментальной шкалы (например, между 1 и 2), что позволяет считать дальнейшие различия практически неразличимыми в рамках используемой шкалы.

Результаты исследования и их обсуждение. Вычислительный эксперимент проводился на реальной организационной задаче: выборе архитектуры корпоративной системы управления ресурсами (ERP) для крупного нефтеперерабатывающего холдинга. Множество альтернатив A включало 5 вариантов (облачная, локальная, гибридная, микросервисная, монолитная архитектуры). Множество критериев C состояло из 12 показателей, распределенных по 4 уровням иерархии (от стратегической безопасности до оперативной масштабируемости), с наличием выраженных обратных связей между тактическими и оперативными кластерами (таблица 1). В экспертизе участвовали 7 специалистов (ИТ-архитекторы, финансовые директора, руководители производственных линий).

Таблица 1 - Параметризация и результаты применения алгоритма АГС-УДИ

Параметр / Метрика	Значение / Обоснование	Результат до алгоритма	Результат после алгоритма
Порог расхождения δ	0.33 (психофизический порог шкалы 1-9)	-	-
Критерий останова CV	< 0.15 (разброс менее шага шкалы)	0.42 (высокая конфликтность)	0.11 (достигнут консенсус)
Средний CR матриц экспертов	-	0.18 (некоторые > 0.2)	0.09 (внутри допустимых норм)
Итоговый CR суперматрицы	Должен быть < 0.1	0.14 (неприемлемо)	0.06 (высокая согласованность)
Устойчивость ранга (Спирмен)	При возмущении весов на $\pm 20\%$	0.74 (ранги меняются)	0.96 (ранг лидера сохранен)

Источник: разработано автором.

Применение классического агрегирования без предварительного разрешения противоречий привело к тому, что итоговый индекс согласованности суперматрицы составил 0.14, что превышает пороговое значение 0.1. Это свидетельствует о том, что локальные противоречия в экспертных оценках привели к несогласованности сетевой модели в целом. Алгоритм АГС-УДИ позволил снизить CV до 0.11 за 4 итерации, при этом итоговый CR упал до 0.06.

Для наглядности структуры взаимных влияний и механизма работы суперматрицы представлена концептуальная схема (рисунок 1).

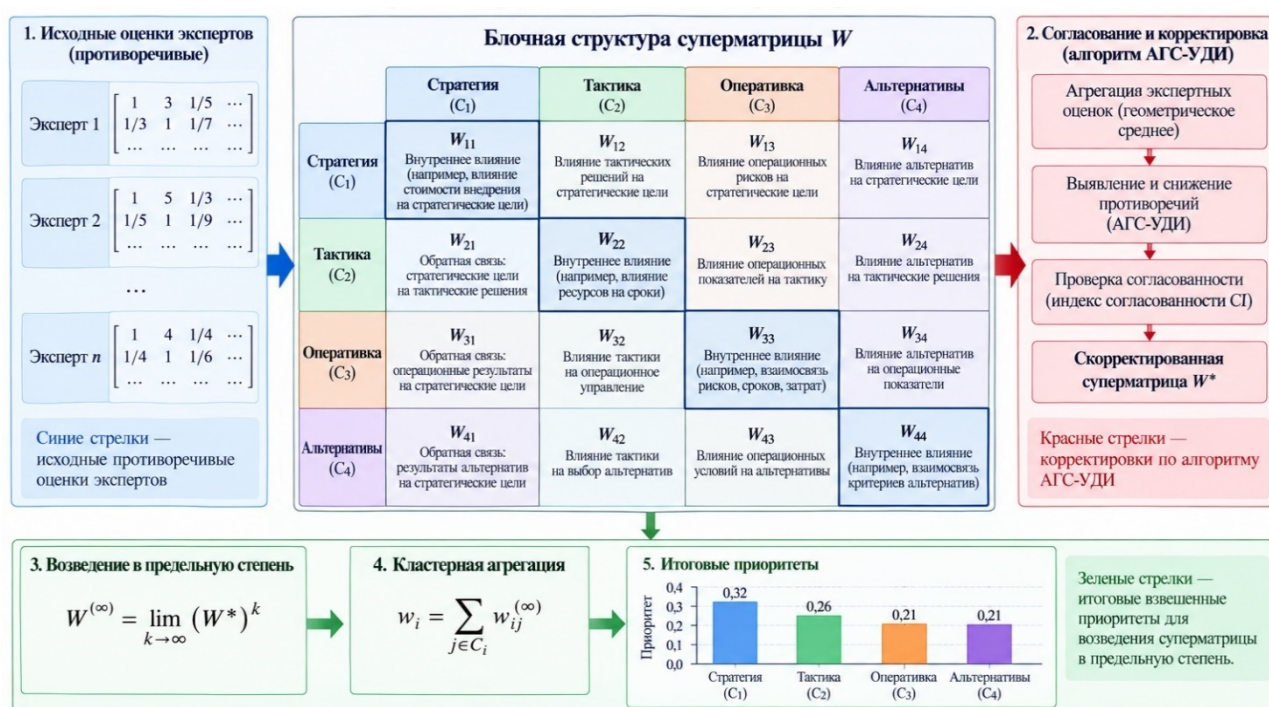


Рисунок 1 - Блок-схема формирования суперматрицы с учетом обратных связей и кластерной агрегации (источник: разработано автором)

Анализ устойчивости итогового ранжирования проводился методом возмущения весов критериев и весов экспертов на $\pm 20\%$. При использовании стандартного ANP без разрешения противоречий коэффициент ранговой корреляции Спирмена при возмущении весов экспертов составил 0.74, что означало смену лидера (гибридная архитектура уступила место локальной) в 3 из 10 сценариев. Предложенная процедура АГС-УДИ обеспечила коэффициент Спирмена 0.96. Лидером устойчиво осталась микросервисная архитектура, что подтверждает: устранение локальных расхождений и противоречий на этапе

формирования матриц существенно повышает устойчивость итогового сетевого синтеза к изменениям весов.

Чувствительность результата к изменению пороговых значений δ и CV также была проверена. Увеличение δ до 0.45 приводило к тому, что алгоритм останавливался слишком рано, сохраняя скрытые конфликты, что повышало итоговый CR до 0.11. Уменьшение CV до 0.10 требовало 8 итераций и приводило к «размыванию» уникального экспертного знания, когда все оценки становились идентичными, но итоговый ранг не менялся. Таким образом, выбранные параметры $\delta = 0.33$ и $CV < 0.15$ являются оптимальным балансом между математической строгостью и сохранением смысловой нагрузки экспертных суждений.

Проведенное исследование доказывает, что переход от иерархических моделей к сетевым в задачах управления организационными системами требует не просто усложнения математического аппарата, но и разработки специализированных процедур очистки входных данных. Предложенный алгоритм градиентного сближения с удержанием доверительных интервалов, опирающийся на строгое доказательство ограниченности деградации согласованности, позволяет трансформировать субъективные противоречия в объективные приоритеты распределения ограниченных ресурсов, обеспечивая высокую устойчивость стратегического выбора.

Выводы. Подводя итог проделанной работе, отметим, что предложенный алгоритм градиентного сближения с удержанием доверительных интервалов заполняет пробел, который долгое время оставался на пересечении двух самостоятельных направлений - сетевого синтеза приоритетов и групповой экспертизы. Мы показали, что механическое усреднение противоречивых суждений в рамках суперматрицы неизбежно порождает глобальную несогласованность модели, тогда как предварительная очистка локальных конфликтов на уровне отдельных парных сравнений позволяет сохранить информационную ценность каждого экспертного голоса. Доказанная теорема об

ограниченной деградации согласованности при взвешенном геометрическом агрегировании снимает распространённое заблуждение о том, что групповая матрица заведомо хуже индивидуальной, и задаёт чёткие математические условия, при которых коллективное суждение остаётся в допустимых границах. Вычислительный эксперимент на примере выбора ERP-архитектуры для нефтеперерабатывающего холдинга подтвердил, что коэффициент ранговой корреляции Спирмена возрастает с 0.74 до 0.96, когда процедура устранения расхождений предшествует формированию предельной суперматрицы.

Вместе с тем следует отметить ограничения разработанного подхода. Главный из них связан с определением весов компетентности участников экспертной группы. Хотя предложено использовать матрицу взаимного оценивания, оценка специалистами компетентности друг друга создает дополнительный источник субъективности, связанный с личными симпатиями и корпоративной иерархией. Форман и Пенивати ещё в 1998 году обращали внимание на эту мета-проблему, указывая, что круг замыкается: для взвешивания экспертов нужны веса, а для весов - снова эксперты. Пороговые значения $\delta = 0.33$ и $CV < 0.15$, обоснованные нами через психофизические свойства фундаментальной шкалы Саати, также требуют осторожной интерпретации. Они хорошо работают для групп численностью до десяти человек, однако при увеличении числа участников до двадцати и более порог консенсуса может оказаться недостижимым за разумное число итераций, что потребует пересмотра самого механизма сближения.

Перспективным направлением, способным частично снять указанные ограничения, представляется интеграция алгоритма АГС-УДИ с аппаратом нечётких чисел. Когда эксперт не может уверенно выбрать между значениями 3 и 5 на шкале Саати, принуждение его к точечной оценке искажает реальную картину неопределённости. Треугольные или трапециевидные нечёткие числа позволяют зафиксировать эту неуверенность непосредственно в матрице парных сравнений, а процедура градиентного сближения в таком случае будет

оперировать не скалярными расхождениями, а расстояниями между нечёткими интервалами. Другой заслуживающий внимания путь - адаптация модели к динамическим организационным средам, где веса критериев и компетентность экспертов меняются от квартала к кварталу. Саати в своей монографии 1996 года подчёркивал, что жизнь организации есть непрерывный поток решений, и статическая суперматрица, какой бы совершенной она ни была, фиксирует лишь мгновенный срез этого потока. Разработка рекуррентных процедур пересчёта предельных приоритетов с учётом накопленной истории экспертных расхождений может стать следующим шагом к созданию динамических моделей управления, адаптирующихся к изменениям организационной системы.

Список литературы

1. Schulze-González E., Pastor-Ferrando J.-P., Aragonés-Beltrán P. Clustering and Reference Value for Assessing Influence in Analytic Network Process without Pairwise Comparison Matrices: Study of 17 Real Cases // *Operations Research Perspectives*. 2023. Vol. 10. Art. 100275. DOI: 10.1016/j.orp.2023.100275.
2. Li L., Jiao S., Shen Y., Liu B., Pedrycz W., Chen Y., Tang X. A Two-Stage Consensus Model for Large-Scale Group Decision-Making Considering Dynamic Social Networks // *Information Fusion*. 2023. Vol. 100. Art. 101972. DOI: 10.1016/j.inffus.2023.101972.
3. Чечнев В. Б. Анализ и классификация многокритериальных методов принятия решений // *Онтология проектирования*. 2024. Т. 14. № 4. С. 607–624. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-4-607-624.
4. Ding R.-X., Cheng R.-X., Li M.-N., Yang G.-R., Herrera-Viedma E. Conflict Management-Based Consensus Reaching Process Considering Conflict Relationship Clustering in Large-Scale Group Decision-Making Problems // *Expert Systems with Applications*. 2024. Vol. 238. Art. 122095. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.122095.
5. Gonzalez-Urango H., Mu E., Ujwary-Gil A., Florek-Paszkowska A. Analytic Network Process in Economics, Finance and Management: Contingency Factors, Current Trends and Further Research // *Expert Systems with Applications*. 2024. Vol.

237. Art. 121415. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.121415.
6. Khanmohammadi E., Azizi M., Talaie H., Ecer F., Babaee Tirkolaee E. A Novel Hybrid Decision-Making Framework Based on Modified Fuzzy Analytic Network Process and Fuzzy Best–Worst Method // *Operational Research*. 2024. Vol. 24. No. 4. P. 1–32. DOI: 10.1007/s12351-024-00863-4.
7. Tu Y., Song J., Xie Y., Zhou X., Lev B. Facilitating Large-Scale Group Decision-Making in Social Networks: A Bi-Level Consensus Model with Social Influence // *Information Fusion*. 2024. Vol. 105. Art. 102258. DOI: 10.1016/j.inffus.2024.102258.
8. Ren R., Su L., Meng X., Wang J., Zhao M. A Large-Scale Group Decision Making Model Based on Trust Relationship and Social Network Updating // *Computer Modeling in Engineering & Sciences*. 2024. Vol. 138. No. 1. P. 429–458. DOI: 10.32604/cmes.2023.027310.
9. Pei F., Gao Y., Yan A., Zhou M., Wu J. Conflict Elimination Based on Opinion Dynamics in Fuzzy Group Decision-Making // *Expert Systems with Applications*. 2024. Vol. 254. Art. 124308. DOI: 10.1016/j.eswa.2024.124308.
10. Мельников А. В., Кобяков Н. С. Численный метод модификации моделей, разработанных на основе метода анализа иерархий, с использованием искусственной нейронной сети // *Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии*. 2024. № 4. С. 5–21. DOI: 10.17308/sait/1995-5499/2024/4/5-21.
11. Lukinskiy V., Lukinsky V., Bazhina D. Refining the Analytic Hierarchy Process: A Statistical and Methodological Exploration of Expert Judgments // *Alexandria Engineering Journal*. 2025. Vol. 125. P. 526–536. DOI: 10.1016/j.aej.2025.04.022.
12. Шагеев Д. А. Решения проблемы эффекта «Rank Reversal» в методе анализа иерархий // *Математические структуры и моделирование*. 2025. № 1(73). С. 99–115. DOI: 10.24147/2222-8772.2025.1.99-115.
13. Fatima R., Alam K. A., Siddique A., Alam T. M., Shaukat K. Exploring Critical Factors of Crowd-Based Requirement Engineering Using Fuzzy DEMATEL-ANP Method // *IEEE Access*. 2025. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3576723.

14. Liang X., Xu X., Cabrerizo F. J. A Novel Group Decision-Making Method with Adjustment Willingness in a Distributed Hesitant Fuzzy Linguistic Environment // *Mathematics*. 2025. Vol. 13. No. 7. Art. 1186. DOI: 10.3390/math13071186.
15. Бригаднов И. А., Казимиров С. П. Исследование чувствительности метода анализа иерархий Т. Саати // *Интеллектуальные технологии на транспорте*. 2025. № 4. С. 54–62. DOI: 10.20295/2413-2527-2025-444-54-62.
16. Терентьев А. А., Пославская В. Я. Разработка алгоритма обработки экспертных оценок на основе взвешенной медианы // *Вестник Югорского государственного университета*. 2026. Т. 22. № 1. С. 71–78. DOI: 10.18822/byusu20260171-78.
17. Hossein Zadeh O., Hajjarian M., Abdi M. R. Stakeholder Bias and Group Decision Dynamics: Mitigating Cognitive Biases with an Integrated Consensus-Building Process // *Decision Making and Analysis*. 2026. DOI: 10.55976/dma.42026146760-86.

References

1. Schulze-González E., Pastor-Ferrando J.-P., Aragonés-Beltrán P. Clustering and Reference Value for Assessing Influence in Analytic Network Process without Pairwise Comparison Matrices: Study of 17 Real Cases // *Operations Research Perspectives*. 2023. Vol. 10. Art. 100275. DOI: 10.1016/j.orp.2023.100275.
2. Li L., Jiao S., Shen Y., Liu B., Pedrycz W., Chen Y., Tang X. A Two-Stage Consensus Model for Large-Scale Group Decision-Making Considering Dynamic Social Networks // *Information Fusion*. 2023. Vol. 100. Art. 101972. DOI: 10.1016/j.inffus.2023.101972.
3. Chechnev V. B. Analiz i klassifikaciya mnogokriterial'ny'x metodov prinyatiya reshenij // *Ontologiya proektirovaniya*. 2024. T. 14. № 4. S. 607–624. DOI: 10.18287/2223-9537-2024-14-4-607-624.
4. Ding R.-X., Cheng R.-X., Li M.-N., Yang G.-R., Herrera-Viedma E. Conflict Management-Based Consensus Reaching Process Considering Conflict Relationship Clustering in Large-Scale Group Decision-Making Problems // *Expert Systems with*

Applications. 2024. Vol. 238. Art. 122095. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.122095.

5. Gonzalez-Urango H., Mu E., Ujwary-Gil A., Florek-Paszowska A. Analytic Network Process in Economics, Finance and Management: Contingency Factors, Current Trends and Further Research // Expert Systems with Applications. 2024. Vol. 237. Art. 121415. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.121415.

6. Khanmohammadi E., Azizi M., Talaie H., Ecer F., Babae Tirkolaee E. A Novel Hybrid Decision-Making Framework Based on Modified Fuzzy Analytic Network Process and Fuzzy Best–Worst Method // Operational Research. 2024. Vol. 24. No. 4. P. 1–32. DOI: 10.1007/s12351-024-00863-4.

7. Tu Y., Song J., Xie Y., Zhou X., Lev B. Facilitating Large-Scale Group Decision-Making in Social Networks: A Bi-Level Consensus Model with Social Influence // Information Fusion. 2024. Vol. 105. Art. 102258. DOI: 10.1016/j.inffus.2024.102258.

8. Ren R., Su L., Meng X., Wang J., Zhao M. A Large-Scale Group Decision Making Model Based on Trust Relationship and Social Network Updating // Computer Modeling in Engineering & Sciences. 2024. Vol. 138. No. 1. P. 429–458. DOI: 10.32604/cmes.2023.027310.

9. Pei F., Gao Y., Yan A., Zhou M., Wu J. Conflict Elimination Based on Opinion Dynamics in Fuzzy Group Decision-Making // Expert Systems with Applications. 2024. Vol. 254. Art. 124308. DOI: 10.1016/j.eswa.2024.124308.

10. Mel'nikov A. V., Kobayakov N. S. Chislenny`j metod modifikacii modelej, razrabotanny`x na osnove metoda analiza ierarxij, s ispol`zovaniem iskusstvennoj nejronnoj seti // Vestnik VGU. Seriya: Sistemny`j analiz i informacionny`e texnologii. 2024. № 4. S. 5–21. DOI: 10.17308/sait/1995-5499/2024/4/5-21.

11. Lukinskiy V., Lukinsky V., Bazhina D. Refining the Analytic Hierarchy Process: A Statistical and Methodological Exploration of Expert Judgments // Alexandria Engineering Journal. 2025. Vol. 125. P. 526–536. DOI: 10.1016/j.aej.2025.04.022.

12. Shageev D. A. Resheniya problemy` e`ffekta «Rank Reversal» v metode analiza ierarxij // Matematicheskie struktury` i modelirovanie. 2025. № 1(73). S. 99–115. DOI: 10.24147/2222-8772.2025.1.99-115.

13. Fatima R., Alam K. A., Siddique A., Alam T. M., Shaukat K. Exploring Critical Factors of Crowd-Based Requirement Engineering Using Fuzzy DEMATEL-ANP Method // IEEE Access. 2025. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3576723.
14. Liang X., Xu X., Cabrerizo F. J. A Novel Group Decision-Making Method with Adjustment Willingness in a Distributed Hesitant Fuzzy Linguistic Environment // Mathematics. 2025. Vol. 13. No. 7. Art. 1186. DOI: 10.3390/math13071186.
15. Brigadnov I. A., Kazimirov S. P. Issledovanie chuvstvitel'nosti metoda analiza ierarxij T. Saati // Intellektual'ny'e tekhnologii na transporte. 2025. № 4. S. 54–62. DOI: 10.20295/2413-2527-2025-444-54-62.
16. Terent'ev A. A., Poslavskaya V. Ya. Razrabotka algoritma obrabotki e'kspertny'x ocenok na osnove vzveshennoj mediany' // Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta. 2026. T. 22. № 1. S. 71–78. DOI: 10.18822/byusu20260171-78.
17. Hossein Zadeh O., Hajjarian M., Abdi M. R. Stakeholder Bias and Group Decision Dynamics: Mitigating Cognitive Biases with an Integrated Consensus-Building Process // Decision Making and Analysis. 2026. DOI: 10.55976/dma.42026146760-86.

Статья поступила в редакцию 05.02.2026; одобрена после рецензирования 30.03.2026; принята к публикации 14.05.2026.

The article was submitted 05.02.2026; approved after reviewing 30.03.2026; accepted for publication 14.05.2026.