

УДК (UDC) 621.86

**МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ НА ОСНОВЕ УСТРАНЕНИЯ СУБЪЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК НА ПРИМЕРЕ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА СИСТЕМЫ ПРИВОДОВ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА****MODIFICATION OF THE METHOD OF HIERARCHY ANALYSIS BASED ON THE ELIMINATION OF THE SUBJECTIVITY OF EXPERT ASSESSMENTS USING THE EXAMPLE OF CHOOSING A RATIONAL OPTION FOR A BELT CONVEYOR DRIVE SYSTEM**Гончаров К.А.  
Goncharov K.A.Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)  
Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)

**Аннотация.** Метод экспертных оценок лежит в основе большинства методов принятия решений в технической сфере деятельности, начиная от поиска рациональных проектных решений и заканчивая вопросами промышленной безопасности опасных производственных объектов, что находит воплощение в виде нормативных документов, регламентирующих реализацию в указанных направлениях рискоориентированного подхода к решению задач. Субъективность метода экспертных оценок часто может приводить к принятию решений, объективно не являющихся рациональными в конкретной проектной ситуации. В настоящей статье рассмотрена модификация надстройки уровня оценки веса критериев метода анализа иерархий на основе статистической обработки множества возможных комбинаций приоритетов критериев на примере выбора рационального варианта системы приводов ленточного конвейера, что является прямой заменой метода экспертных оценок и парных сравнений на данном уровне иерархии. Показано, что при учете предложенной модификации и парном сравнении на первом уровне иерархии однозначно определенных значений вариантов в рамках каждого критерия (характеристик технических объектов) метод парных сравнений исключается из структуры методологического аппарата метода анализа иерархий, что позволяет выделить полученную совокупность результатов в отдельный метод принятия решений.

**Ключевые слова:** метод анализа иерархий, ленточный конвейер, система приводов, критерии эффективности.

Дата получения статьи: 20.05.2024  
Дата принятия к публикации: 15.09.2024  
Дата публикации: 25.09.2024

**Abstract.** The expert assessment method underlies most decision-making methods in the technical field of activity, from the search for rational design solutions to issues of industrial safety of hazardous production facilities, which is embodied in the form of regulatory documents governing the implementation of a risk-oriented approach to problem solving in the specified areas. The subjectivity of the expert assessment method can often lead to decisions that are objectively not rational in a specific design situation. This article considers a modification of the superstructure of the criteria weight assessment level of the hierarchy analysis method based on statistical processing of a set of possible combinations of criteria priorities using the example of choosing a rational option for a belt conveyor drive system, which is a direct replacement for the expert assessment method and paired comparisons at this hierarchy level. It is shown that when taking into account the proposed modification and paired comparison at the first level of the hierarchy of clearly defined values of options within each criterion (characteristics of technical objects), the method of paired comparisons is excluded from the structure of the methodological apparatus of the hierarchy analysis method, which makes it possible to single out the obtained set of results into a separate decision-making method.

**Keywords:** analytical hierarchy process, belt conveyor, drive system, criteria of effectiveness.

Date of manuscript reception: 20.05.2024  
Date of acceptance for publication: 15.09.2024  
Date of publication: 25.09.2024

**Сведения об авторе:**

**Гончаров Кирилл Александрович** – доктор технических наук, доцент, проректор по инновационному развитию, информатизации и цифровой трансформации ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», e-mail: goncharov\_bgu@mail.ru.

ORCID: 0000-0002-5895-1162

**Author's information:**

**Kirill A. Goncharov** – Doctor of Technical Sciences, associate Professor, Vice-Rector for Innovative Development, Informatization and Digital Transformation Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, e-mail: goncharov\_bgu@mail.ru.

ORCID: 0000-0002-5895-1162

## 1. Введение

Метод экспертных оценок лежит в основе большинства методов принятия решений и широко используется в рискориентированных способах оценки различных ситуаций техногенного характера в области промышленной безопасности, в том числе в структуре различных методологий анализа и снижения риска по отношению к техническим объектам. К примеру, в пунктах 1 и 2 статьи 4 технического регламента Таможенного союза ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» указана необходимость обязательной идентификации возможных видов опасности на всех стадиях жизненного цикла при разработке (проектировании) машин и оборудования с обязательной оценкой риска расчетным, экспериментальным, экспертным путем.

В работе [1] представлена структура иерархии для определения рационального варианта системы приводов ленточного конвейера с использованием инструментария метода анализа иерархий. Если первый уровень иерархии [1] представляет собой частную форму метода парных сравнений, фактически нивелированного из-за специфики применения данного метода по отношению к однозначно установленным значениям характеристик (критериев) технических объектов, то второй уровень иерархии представляет собой симбиоз классической формы метода парных сравнений и метода экспертных оценок.

Выставление оценок экспертами в рамках метода парных сравнений усложнено операционной спецификой метода, а именно необходимостью проставлять оценки заново в каждой сравниваемой паре, что привносит значительную долю субъективности в итоговый результат. Пользуясь 9-балльной шкалой оценок эксперт в общем случае должен установить отношение веса критерия  $K_i$  к весу критерия  $K_j$ , фактически оперируя простыми дробями. Например, эксперт выбирает между

соотношениями 6 к 8 или 7 к 9, что в числовом выражении близко друг к другу, но на итоговый результат подобная субъективность оценки может оказать значительное влияние. При этом в методе парных сравнений теряется смысловой аспект степени пропорциональности выставляемых оценок: не важно, выставить ли в конкретной сравниваемой паре значение 1/2 или 4/8, так как дальнейшие математические преобразования в любом случае приведут к математическому сокращению дробей. При установлении экспертами жестких значений оценок веса критериев для сохранения указанного смыслового аспекта возникает нарушение первого условия о несовместности одинаковых шкал оценок, приведенное в [1], что в свою очередь приводит к противоречиям, описанным в работе [2].

На основании приведенных аргументов можно сформулировать тезис о том, что при общих известных субъективных рисках метода экспертных оценок его симбиоз с методом парных сравнений увеличивает вероятность принятия неверного итогового решения, особенно в случаях сочетания в одной структуре иерархии уровней с субъективными экспертными оценками и жестко установленными значениями критериев.

## 2. Цель исследования

Целью настоящего исследования является модификация надстройки уровня оценки веса критериев метода анализа иерархий на основе статистической обработки множества возможных комбинаций приоритетов критериев на примере выбора рационального варианта системы приводов ленточного конвейера, что является прямой заменой метода экспертных оценок и парных сравнений на данном уровне иерархии. Результатом исследования должны стать решения, позволяющие максимально исключить риски субъективности оценки уровня значимости

тех или иных критериев на соответствующем уровне иерархии с возможностью масштабирования на другие уровни.

### 3. Особенности проведения исследования

Рассмотрим структуру надстройки метода анализа иерархий на уровне определения веса критериев сравнения. В общем случае, как это показано в работах [1, 3], определение веса критерия производится методом экспертной оценки, что приводит к неочевидным итоговым решениям (итоговое преимущество варианта №7 в работе [3]).

Введем в исследование следующую гипотезу: *вне зависимости от значений полученных экспертных оценок существует внекритериальный рациональный вариант рассматриваемого технического решения в случае, если на первом уровне иерархии сравнение проводилось с применением жестких значений технических критериев.*

Для доказательства данной гипотезы рассмотрим множество результатов определения рационального варианта технического решения при искусственном перекрестном назначении веса критериев эффективности на примере системы приводов ленточного конвейера.

Сравнительный анализ проведем для трех критериев [3]:

K1 – трудоемкость обслуживания системы приводов и тяговой ленты за год (чел·ч);

K2 – площадь, занимаемая системой приводов (м<sup>2</sup>);

K3 – стоимость системы приводов и конвейерной ленты (млн. руб.).

Величины значений критериев, а также обобщенное описание конструктивного исполнения каждого варианта системы приводов ленточного конвейера представлены в работе [3].

Вес критериев, в отличие от данных, приведенных в работе [3], будем назначать искусственно, последовательно снижая значение одного критерия при равенстве двух других. Взаимодействие весов критериев представим в виде последовательности

$$x - y - z,$$

где  $x, y, z$  – соответственно вес первого, второго и третьего критериев.

При этом в качестве обязательного атрибута исследования обозначим условие

$$x + y + z = 1. \quad (1)$$

Шаг изменения веса критерия отсчета примем равным 0,1. Полная система сочетаний веса критериев представлена в табл. 1.

Таблица 1

Система сочетаний веса критериев

Регулируемый критерий K1	Регулируемый критерий K2	Регулируемый критерий K3
1 – 0 – 0	0 – 1 – 0	0 – 0 – 1
0,9 – 0,05 – 0,05	0,05 – 0,9 – 0,05	0,05 – 0,05 – 0,9
0,8 – 0,1 – 0,1	0,1 – 0,8 – 0,1	0,1 – 0,1 – 0,8
0,7 – 0,15 – 0,15	0,15 – 0,7 – 0,15	0,15 – 0,15 – 0,7
0,6 – 0,2 – 0,2	0,2 – 0,6 – 0,2	0,2 – 0,2 – 0,6
0,5 – 0,25 – 0,25	0,25 – 0,5 – 0,25	0,25 – 0,25 – 0,5
0,4 – 0,3 – 0,3	0,3 – 0,4 – 0,3	0,3 – 0,3 – 0,4
0,3 – 0,35 – 0,35	0,35 – 0,3 – 0,35	0,35 – 0,35 – 0,3
0,2 – 0,4 – 0,4	0,4 – 0,2 – 0,4	0,4 – 0,4 – 0,2
0,1 – 0,45 – 0,45	0,45 – 0,1 – 0,45	0,45 – 0,45 – 0,1
0 – 0,5 – 0,5	0,5 – 0 – 0,5	0,5 – 0,5 – 0

Итоговый вес варианта определим суммой его весов во всех приведенных в табл. 1 сочетаниях.

Результаты вычисления рационального варианта системы приводов ленточного кон-

вейера по приведенным выше сочетаниям веса критериев представлены на диаграммах (рис. 1 – 17).

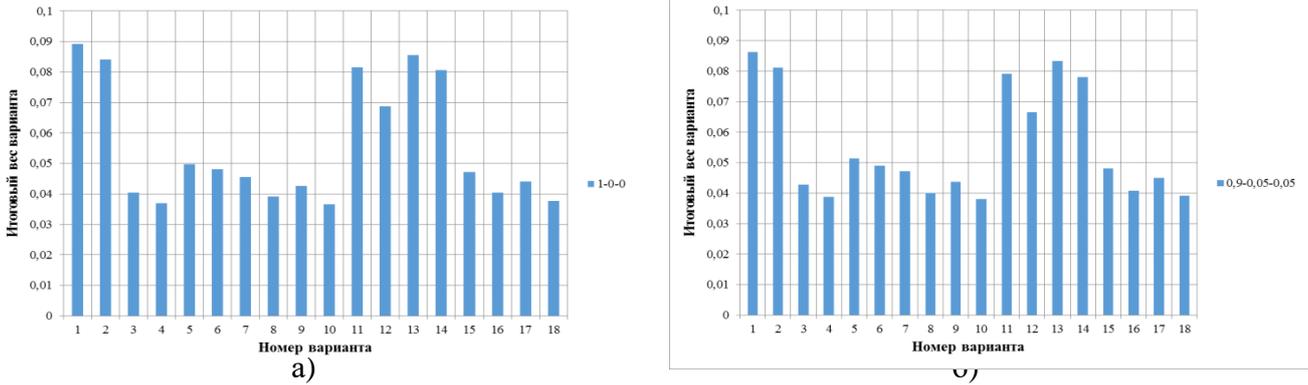


Рис. 1. Результаты вычисления рационального варианта системы приводов ленточного конвейера в зависимости от сочетания веса критериев: а – сочетание (1 – 0 – 0); б – сочетание (0,9 – 0,05 – 0,05)

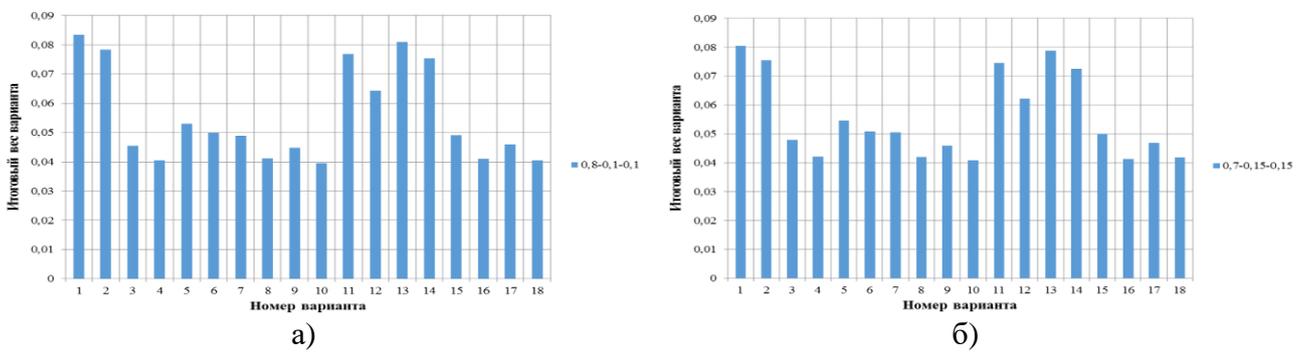


Рис. 2. Результаты вычисления рационального варианта системы приводов ленточного конвейера в зависимости от сочетания веса критериев: а – сочетание (0,8 – 0,1 – 0,1); б – сочетание (0,7 – 0,15 – 0,15)

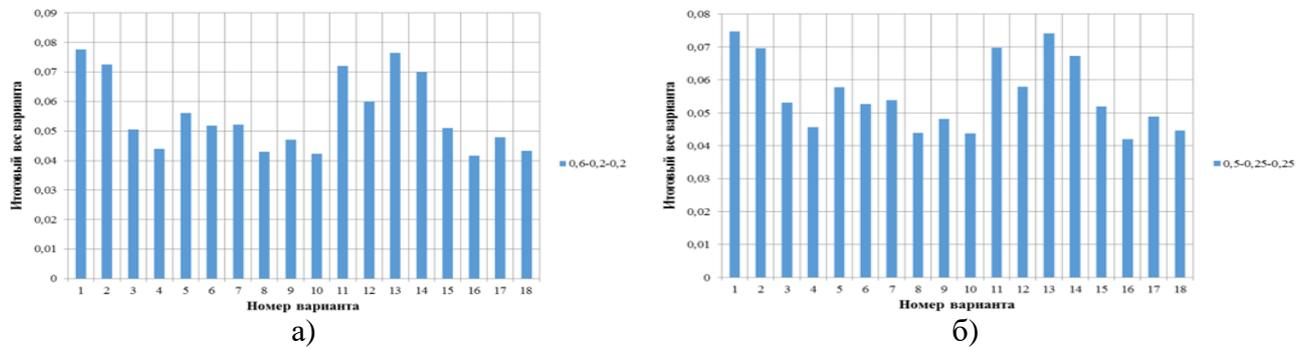


Рис. 3. Результаты вычисления рационального варианта системы приводов ленточного конвейера в зависимости от сочетания веса критериев: а – сочетание (0,6 – 0,2 – 0,2); б – сочетание (0,5 – 0,25 – 0,25)

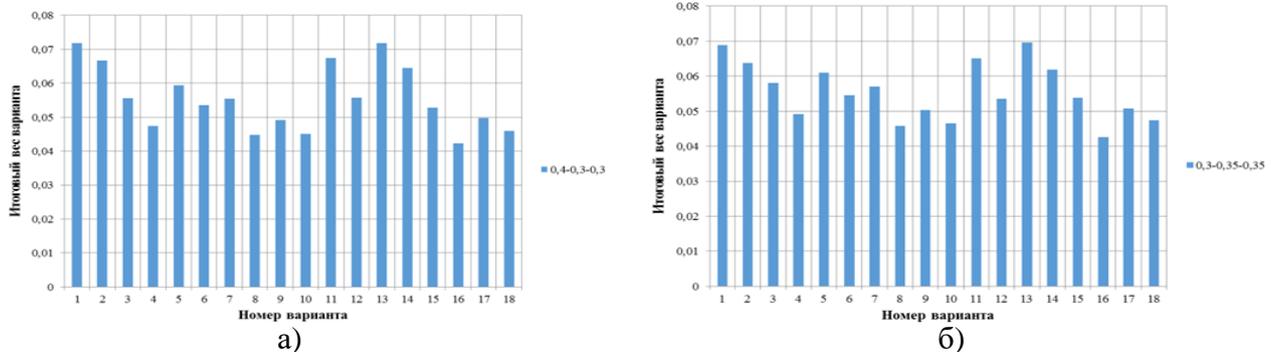


Рис. 4. Результаты вычисления рационального варианта системы приводов ленточного конвейера в зависимости от сочетания веса критериев: а – сочетание (0,4 – 0,3 – 0,3); б – сочетание (0,3 – 0,35 – 0,35)

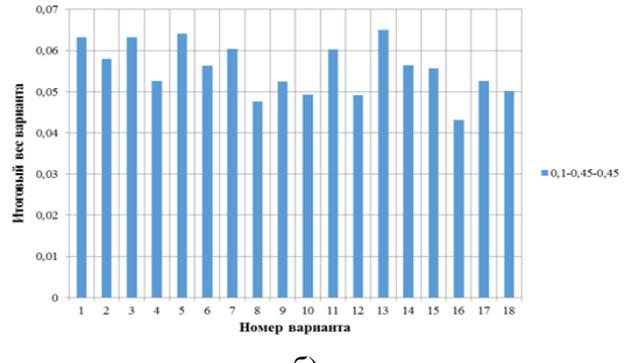
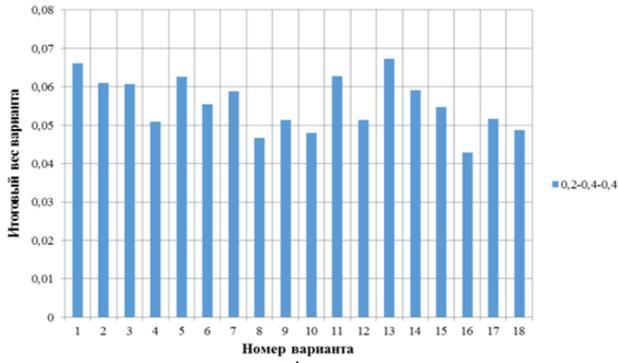


Рис. 5. Результаты вычисления рационального варианта СП ЛК в зависимости от сочетания веса критериев: а – сочетание (0,2 – 0,4 – 0,4), б – сочетание (0,1 – 0,45 – 0,45)

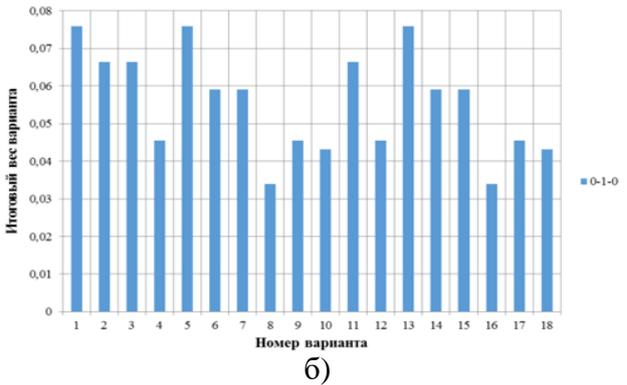
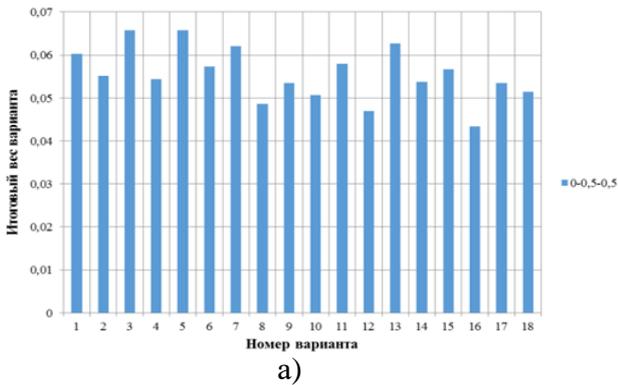


Рис. 6. Результаты вычисления рационального варианта СП ЛК в зависимости от сочетания веса критериев: а – сочетание (0 – 0,5 – 0,5). б – сочетание (0 – 1 – 0)

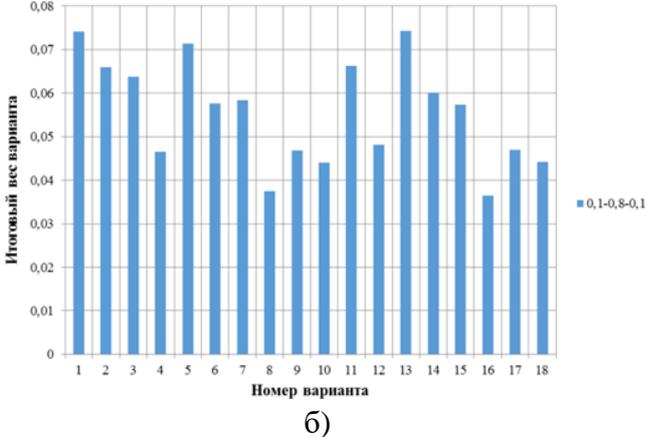
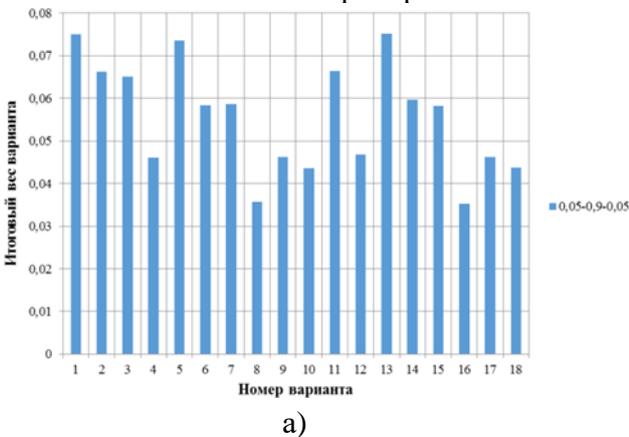


Рис. 7. Результаты вычисления рационального варианта СП ЛК в зависимости от сочетания веса критериев: а – сочетание (0,05 – 0,9 – 0,05), б – сочетание (0,1 – 0,8 – 0,1)

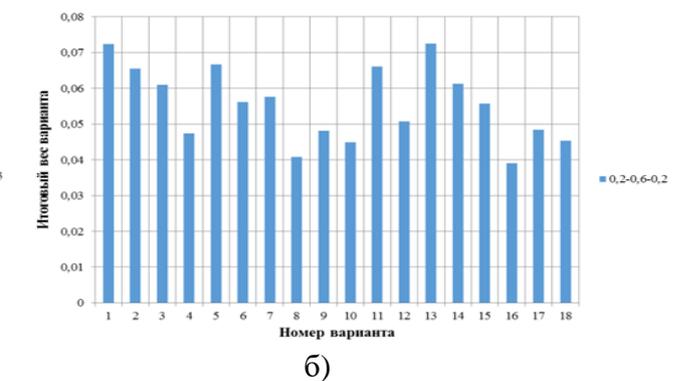
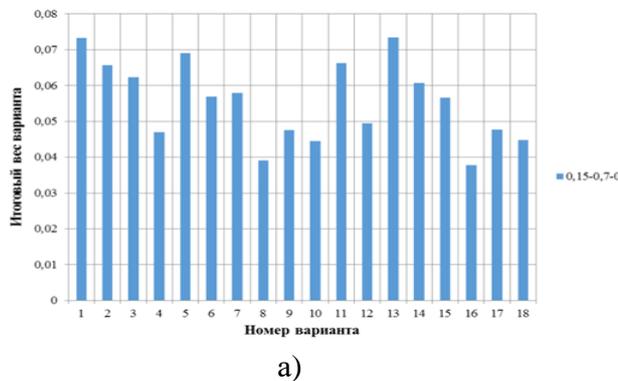


Рис. 8. Результаты вычисления рационального варианта СП ЛК в зависимости от сочетания веса критериев: а – сочетание (0,15 – 0,7 – 0,15), б – сочетание (0,2 – 0,6 – 0,2)

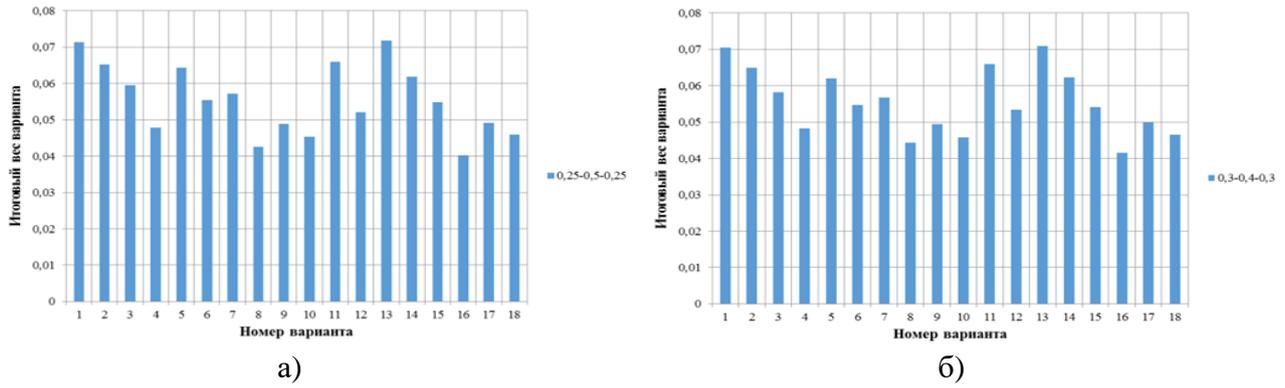


Рис. 9. Результаты вычисления рационального варианта СП ЛК в зависимости от сочетания веса критериев: а – сочетание (0,25 – 0,5 – 0,25), б – сочетание (0,3 – 0,4 – 0,3)

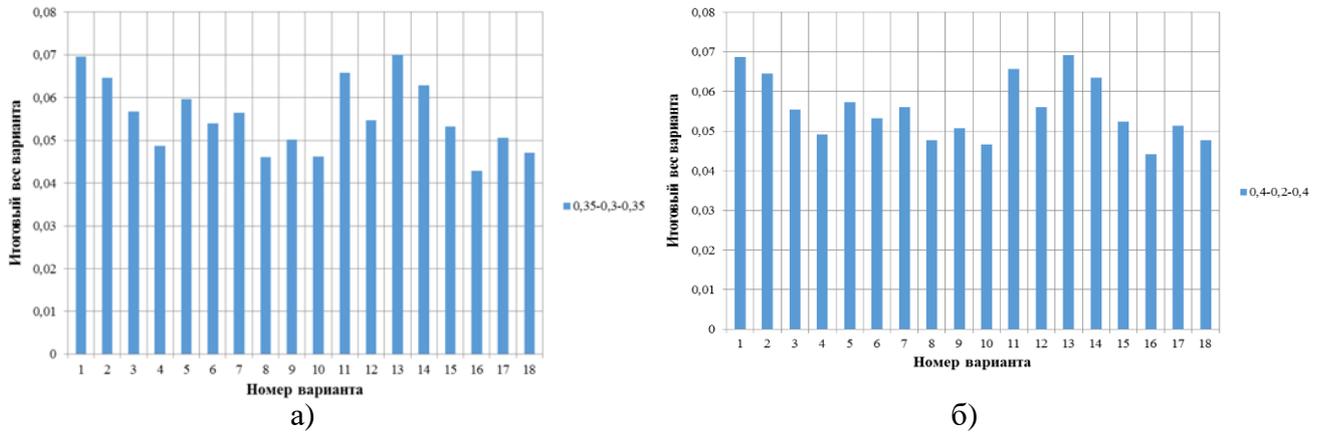


Рис. 10. Результаты вычисления рационального варианта СП ЛК в зависимости от сочетания веса критериев: а – сочетание (0,35 – 0,3 – 0,35), б – сочетание (0,4 – 0,2 – 0,4)

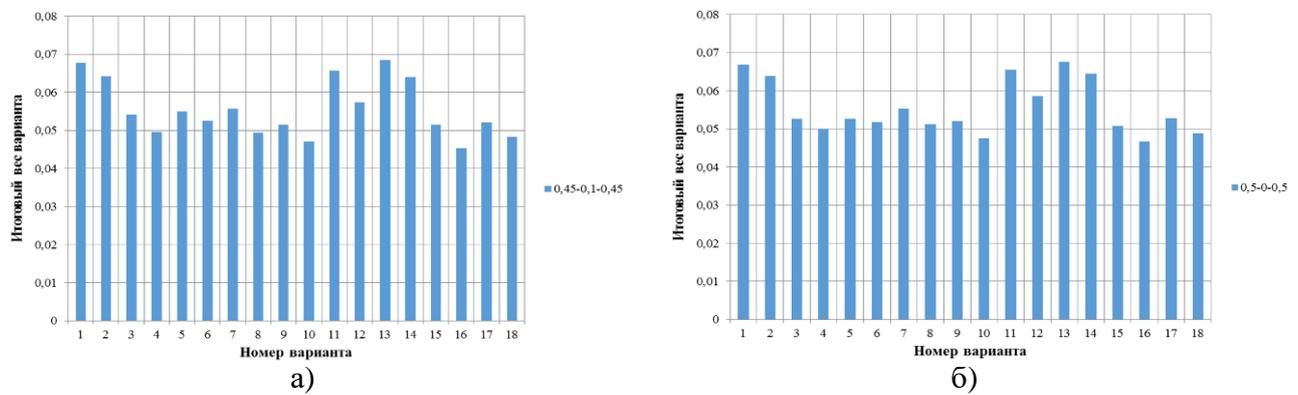


Рис. 11. Результаты вычисления рационального варианта СП ЛК в зависимости от сочетания веса критериев: а – сочетание (0,45 – 0,1 – 0,45), б – сочетание (0,5 – 0 – 0,5)

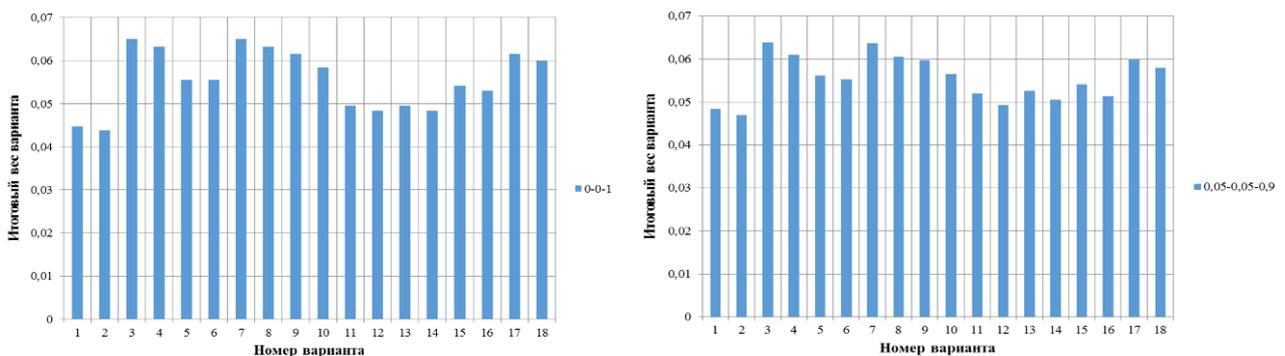


Рис. 12. Результаты вычисления рационального варианта СП ЛК в зависимости от сочетания веса критериев: а – сочетание (0 – 0 – 1), б – сочетание (0,05 – 0,05 – 0,9)

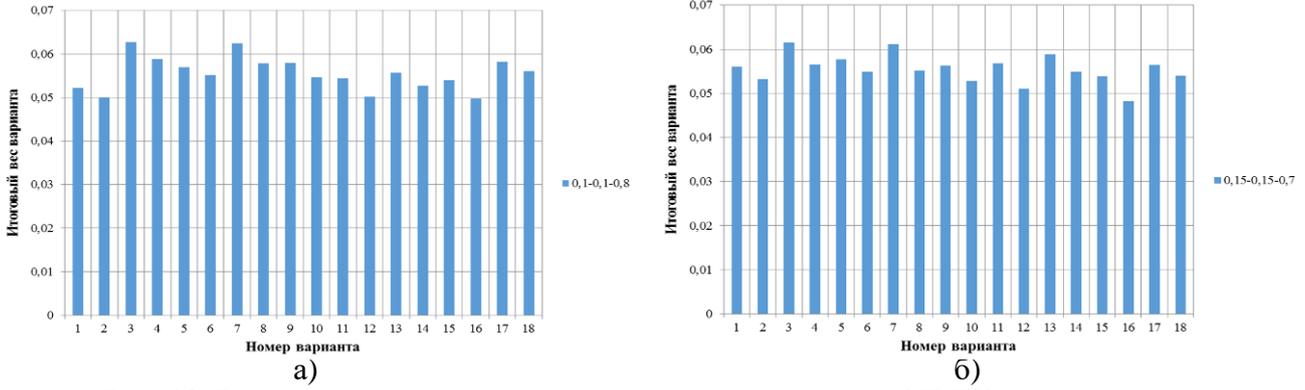


Рис. 13. Результаты вычисления рационального варианта СП ЛК в зависимости от сочетания веса критериев: а – сочетание (0,1 – 0,1 – 0,8), б – сочетание (0,15 – 0,15 – 0,7)

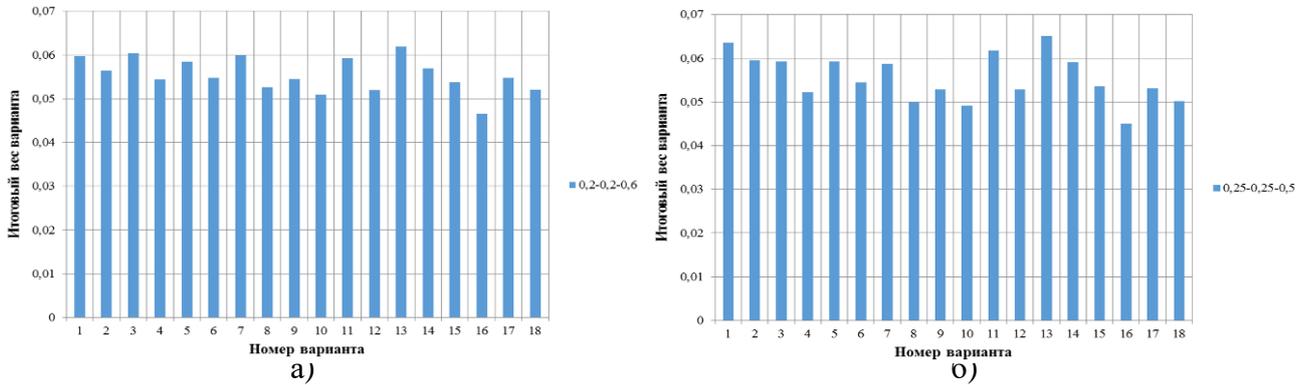


Рис. 14. Результаты вычисления рационального варианта СП ЛК в зависимости от сочетания веса критериев: а – сочетание (0,2 – 0,2 – 0,6), б – сочетание (0,25 – 0,25 – 0,5)

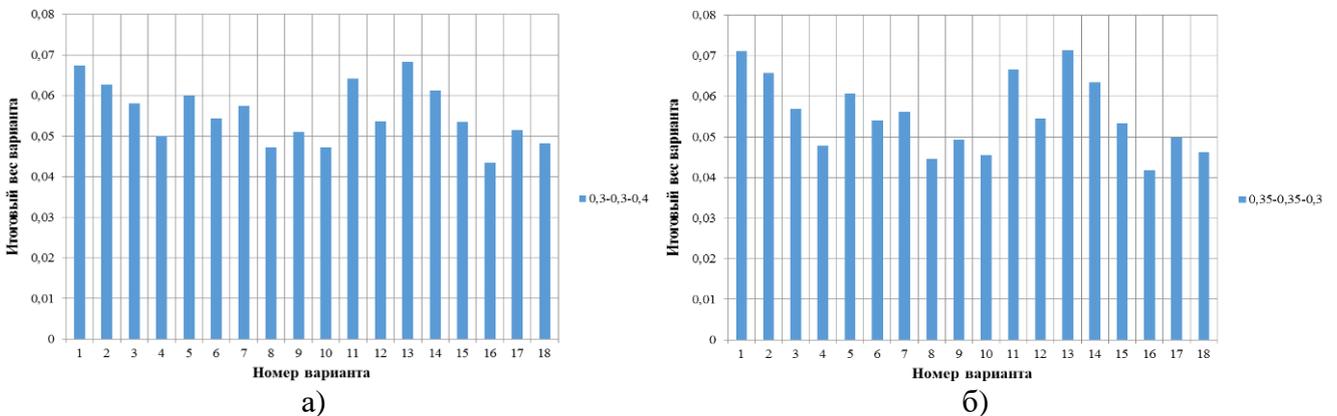


Рис. 15. Результаты вычисления рационального варианта СП ЛК в зависимости от сочетания веса критериев: а – сочетание (0,3 – 0,3 – 0,4), б – сочетание (0,35 – 0,35 – 0,3)

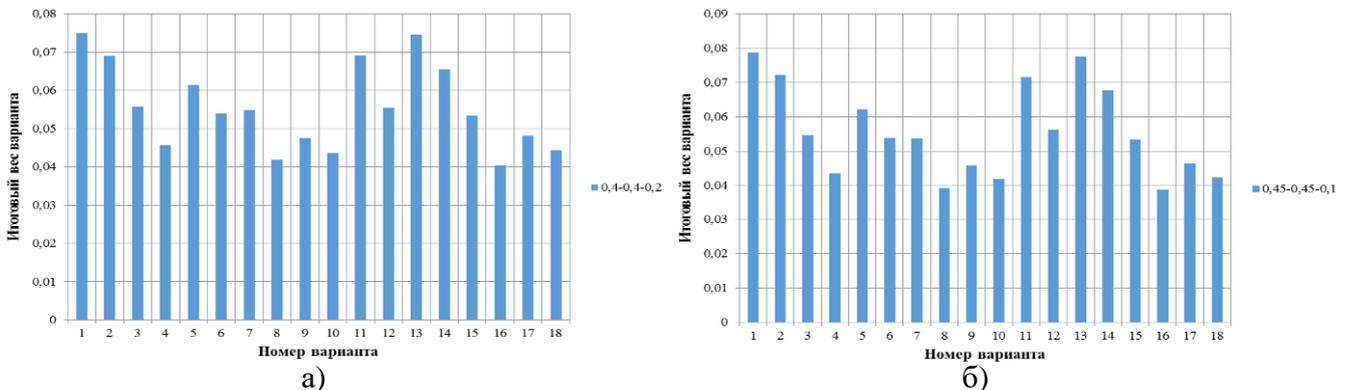


Рис. 16. Результаты вычисления рационального варианта СП ЛК в зависимости от сочетания веса критериев: а – сочетание (0,4 – 0,4 – 0,2), б – сочетание (0,45 – 0,45 – 0,1)

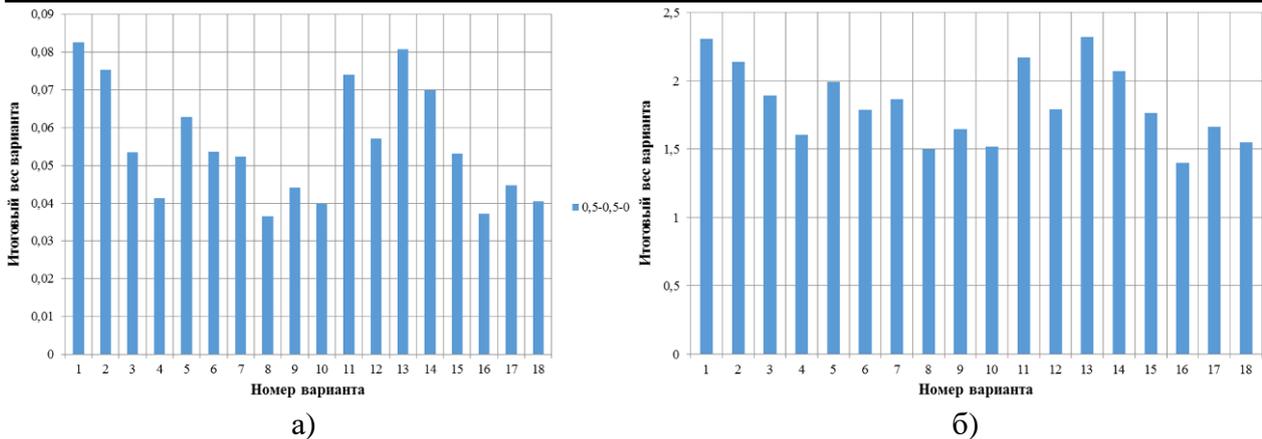


Рис. 17. Результаты вычисления рационального варианта СП ЛК в зависимости от сочетания веса критериев: а – сочетание (0,5 – 0,5 – 0), б – итоговый вес вариантов

## 5. Анализ результатов

Анализируя полученные данные можно сделать следующие общие выводы:

1 Вариант системы приводов ленточного конвейера №7, определенный в качестве рационального в работе [3], является рациональным только в сочетании (0-0-1), вторым выбором в сочетаниях (0,05-0,05-0,9), (0,1-0,1-0,8), (0,15-0,15-0,7) и третьим выбором в сочетании (0,2-0,2-0,6). Изменение результатов оценки по сравнению с [3] связано с отсутствием дополнительной настройки в виде уровня иерархии «Степень важности группы критериев» и приведению суммы веса всех критериев к единице. В качественном описании можно утверждать, что рациональность варианта №7 возможна только в случае тотального преобладания у заказчика интереса к капитальным затратам в рамках реализации проекта при минимальной заинтересованности в учете эксплуатационных и эргономических затрат.

2 Итоговый наивысший вес варианта № 13 является закономерным как в качественном, так и в количественном эквиваленте. Из представленных 33-х вариантов распределения веса критериев вариант № 13 являлся рациональным в 18-ти сочетаниях, вторым выбором в 10-ти сочетаниях, третьим выбором в 2-х сочетаниях. Система приводов ленточного конвейера варианта № 13 при качественном анализе характеризуется одними из самых низких показателей трудоемкости обслуживания и площади, занимаемой системой при

водов, при средних значениях стоимости системы приводов и конвейерной ленты.

3 Конструктивно вариант №13 характеризуется установкой двух однобарабанных приводов разной мощности, в структуре которых применяется по одному электродвигателю (2000 кВт и 1000 кВт соответственно). Приводы не распределены по трассе, а сконцентрированы в структуре единой приводной станции. Ближайший конкурент варианта №13 – вариант №1. Данный вариант характеризуется одним приводом в структуре приводной станции, имеющим один электродвигатель мощностью 3150 кВт. Третий лидирующий вариант (№11) конструктивно является близнецом варианта №13. Отличие – установка в обоих приводах одинаковых двигателей по 1600 кВт каждый. Все три лидирующие варианта не содержат в своей структуре промежуточные приводы, значительно увеличивающие площадь приводной станции. Данную тенденцию можно было бы объяснить наличием в системе принятия решений критерия величины площади системы приводов, в рамках которого во всех сочетаниях весов критериев рейтинг системы приводов с промежуточными приводами неизменно будет занижен. В данную категорию попадает указанный выше вариант системы приводов ленточного конвейера №7, являющийся наилучшим по критерию К3. Если из расчета исключить критерий К2, а сравнительный анализ проводить только по двум критериям (К1 и К3) с тем же шагом изменения веса 0,1, то результат остается неизменным. Лидирующим остается вариант систе-

мы приводов ленточного конвейера №13, вторым выбором – вариант № 1, третьим выбором – вариант № 11.

4 На основании аргументов, описанных в предыдущем выводе, можно в определенной степени констатировать взвешенность показанного в настоящей статье подхода, демонстрирующего стабильность результата вне зависимости от изменения структуры критериев при сохранении логичности в конструкторском плане в отношении полученных результатов.

## 5. Заключение.

На основании полученных выводов можно сформировать следующую структуру модифицированного метода принятия решений на основе метода анализа иерархий:

1 На низшем уровне иерархии реализуется оценивание технических решений на основе сравнения однозначно определенных значений критериев путем вычисления их отношений к общей сумме значений. Обоснование данного подхода приведено в работе [1].

2 На втором уровне иерархии сравнение веса критериев не проводится. Определяется

множество сочетаний весов критериев, для каждого из которых рассчитывается итоговый результат (вычисляется итоговый вес каждого сравниваемого варианта технического объекта). Общий итог определяется алгебраической суммой всех итоговых результатов по всем сочетаниям веса критериев. Шаг изменения веса критериев является произвольным и определяется возможностями аппаратного и программного обеспечения.

Оба уровня иерархии исключают использование метода парных сравнений. В связи с этим дальнейшее применение к описанной системе принятия решений термина «метод анализа иерархий» методологически не совсем корректно (несмотря на сохранившуюся структуру в виде иерархии).

Стоит отметить, что полученный модифицированный метод принятия решений применительно к техническим объектам максимально лишен субъективности на всех уровнях в связи с учетом однозначно установленных сравниваемых параметров технических объектов и заменой экспертного определения веса критериев на пошаговый анализ влияния различных возможных его сочетаний на итоговый результат.

## Список литературы

1 Гончаров К.А. Обоснование методики выбора рациональных вариантов систем приводов ленточных конвейеров на основе метода анализа иерархий // Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2016. №2. С. 66 – 70.

2 Подиновский В.В., Подиновская О.В. О некорректности метода анализа иерархий // Проблемы управления, 2011. №1. С. 8 – 13.

3 Гончаров К.А. Определение рационального варианта системы приводов ленточного конвейера ЛСТ-1600 // Вестник Брянского государственного технического университета, 2011. №4(32). С. 33 – 38.

## References

1. Goncharov K.A. Substantiation of selection method of preferred alternative of belt conveyor drive systems on the basis of the analytic hierarchy process. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.2, pp. 66-70. (In Russian)

2. Podinovski V.V., Podinovskaya O.V. O nekorrektnosti metoda analiza ierarkhiy. *Problemy upravleniya*, 2011, No.1, pp. 8-13. (In Russian)

3. Goncharov K.A. Opredeleniye racionalnogo varianta sistemy privodov lentochnogo konveyera LST-1600. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*, 2011, No.4(32), pp. 33 – 38. (In Russian)