УДК 621.86

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ СИСТЕМ ПРИВОДОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

К.А. Гончаров

Брянский государственный технический университет

Приведено обоснование методики выбора рациональных вариантов систем приводов ленточных конвейеров на основе метода анализа иерархий. Выработаны условия, выполнение которых обеспечивает корректное применение предлагаемой методики в процессе выбора рациональных вариантов технических объектов. В соответствии с выработанными условиями предложен комплекс критериев оценки эффективности систем приводов ленточных конвейеров, а также соответствующая ему структура иерархии.

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

Метод анализа иерархий (МАИ) широко используется для принятия рациональных решений в различных областях жизнедеятельности. При этом сторонники и критики МАИ на протяжении значительного периода времени приводят аргументы в защиту метода и наоборот [1, 2].

Анализируя приведенное в источнике [2] доказательство несостоятельности МАИ можно сделать следующие выводы:

1. Полученные авторами логические выкладки, как минимум, спорны, т.к., указывая на тот факт, что шкалы приоритетов вариантов по отдельным критериям в МАИ полагаются шкалами отношений не связанными друг с другом, в приведенном примере авторы вводят общую шкалу для двух используемых критериев. При этом сравнивая значения вариантов по двум критериям в рамках одной шкалы, делается оценочный субъективный вывод о том, какой вариант решения может считаться наилучшим в противовес данным, полученным при определении такого варианта с помощью МАИ.
2. В основе МАИ при выявлении приоритетов на каждом уровне иерархии лежит метод парных сравнений. В приведенном в работе [2] примере авторы присваивают каждому рассматриваемому варианту в рамках каждого критерия фиксированное оценочное значение. При таком подходе метод парных сравнений, который априори должен учитывать «индивидуальные отношения» каждой пары вариантов по всем критериям, утрачивает свое смысловое содержание, принимая частную форму, в которой вес варианта в рамках критерия определяется долей его значения в сумме значений всех вариантов по рассматриваемому критерию. Таким образом, отпадает необходимость проведения большинства сопутствующих методу парных сравнений математических операций. Действительно, при парном сравнении степень важности n-го варианта Q_n в рамках i-го критерия при фиксированных оценочных значениях определяется следующим образом:

$$Q_n = \frac{\left(\frac{G_{in}}{G_{i1}}\frac{G_{in}}{G_{i2}}\frac{G_{in}}{G_{i3}}\cdots\frac{G_{in}}{G_{ik}}\right)^{1/k}}{\sum_{n=1}^{k}\left(\frac{G_{in}}{G_{i1}}\frac{G_{in}}{G_{i2}}\frac{G_{in}}{G_{i3}}\cdots\frac{G_{in}}{G_{ik}}\right)^{1/k}} = \frac{G_{in}}{\sqrt[k]{G_{i1}G_{i2}G_{i3}\ldots G_{ik}}}\cdot\frac{\sqrt[k]{G_{i1}G_{i2}G_{i3}\ldots G_{ik}}}{\sum_{n=1}^{k}G_{in}} = \frac{G_{in}}{\sum_{n=1}^{k}G_{in}}, \quad (1)$$

где G_{ik} – фиксированное оценочное значение i-го критерия для k-го варианта; G_{in} – фиксированное оценочное значение i-го критерия для n-го варианта; k – количество вариантов в рамках критерия.

В работе [3] приведен пример применения МАИ к выбору рационального варианта системы приводов (СП) ленточного конвейера (ЛК). Используемые в примере шкалы оценок вариантов по различным критериям несоизмеримы, т.к. оценки представляют собой непосредственно рассчитанные по соответствующим методикам значения различных критериев.

Данное обстоятельство позволяет осуществить уход от возможных спорных суждений, описанных выше в первом выводе.

Применительно к этому утверждению приведем пример, аналогичный описанному в источнике [2], но с несоразмерными шкалами оценок. Числовые значения вариантов по критериям сохраняют предложенные в [2] соотношения между ними.

Пусть имеются четыре варианта системы привода ЛК. Они сравниваются по двум условно равнозначным критериям: стоимость СП и необходимая для установки СП площадь поверхности. Значения критериев для указанных СП приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения критериев для СП ЛК в рассматриваемом примере

№ варианта	Стоимость СП, млн. руб.	Необходимая площадь поверхности, млн. мм^2
1	90	30
2	30	30
3	10	90
4	90	10

В качестве условия задачи предположим, что в текущей проектной ситуации наилучшим будет являться вариант с максимальными значениями критериев. При использовании МАИ рациональным оказывается вариант №3. В работе [2] авторы сделали вывод о том, что вариант №3 не может быть предпочтительнее варианта №1, т.к. имеет визуально худшие значения по критериям (с учетом принятого авторами допущения о применимости одинаковой шкалы оценок к двум критериям). В приведенном примере сделать подобное утверждение не представляется возможным в силу некорректности отождествления значений 90 млн. руб. и 90 млн. мм^2, т.к. равнозначность критериев подразумевает равенство их весов для субъекта, принимающего решение, а не соразмерность шкал значений критериев.

Приведенный пример иллюстрирует ошибочность однозначного утверждения о несостоятельности МАИ, сделанный в работе [2]. При этом следует отметить, что пример, описанный в [2], наглядно демонстрирует возможность получения некорректного результата в случае наличия в структуре иерархии хотя бы двух критериев с одинаковыми шкалами оценок при фиксированных значениях критериев для сравниваемых вариантов (частный случай метода парных сравнений).

Таким образом, можно сформулировать первое условие, определяющее обязательное требование к структуре иерархии при использовании МАИ: ***в структуру иерархии не должны включаться критерии, имеющие одинаковые шкалы оценок, в случае применения фиксированных значений критериев для сравниваемых вариантов***.

При выборе рационального варианта какого-либо технического объекта не существует возможности ухода от частной формы метода парных сравнений на нижнем уровне иерархии, определяемом значениями критериев по каждому сравниваемому варианту. Это связано с наличием четко нормированных и измеряемых шкал критериев эффективности сравниваемых объектов, являющихся их техническими, экономическими, экологическими и другими характеристиками, значения которых можно однозначно установить. Степень важности вариантов по критериям в таком случае устанавливается с использованием зависимости (1).

В связи с этим можно сформулировать второе условие, определяющее границы корректного использования метода парных сравнений в МАИ: ***при сравнении однозначно определенных значений вариантов в рамках каждого критерия (в случае с техническими объектами – однозначно установленных значений их характеристик) на любом уровне иерархии приоритет любого сравниваемого варианта в рамках рассматриваемого критерия определяется отношением значения этого варианта по данному критерию к сумме значений всех сравниваемых вариантов по этому же критерию***.

На более высоких уровнях иерархии метод парных сравнений уходит от частной формы, т.к. «индивидуальные отношения» критериев и групп критериев (при необходимости) ме-

жду собой устанавливаются на основе экспертных оценок. В этом случае для корректного использования метода парных сравнений в свете допущения, сделанного в работе [2], а также в противовес предыдущему условию, можно сформулировать третье условие, определяющее особенности экспертного оценивания критериев и групп критериев на более высоких уровнях иерархии: ***при сравнении критериев и групп критериев их приоритеты в рамках каждого слота или уровня иерархии целесообразно определять попарным сравнением друг с другом, учитывая «индивидуальные отношения» критериев или групп критериев между собой***.

Следует отметить использование в приведенном третьем условии понятия «целесообразно», т.к. при соблюдении требований, сформулированных в первом условии допустимо применять описанную выше частную форму метода парных сравнений. Пример определения рационального варианта технического объекта (СП ЛК) со структурой иерархии, оперирующей на каждом её уровне частной формой метода парных сравнений, приведен в [3].

В работе [4] предложен общий комплекс критериев (КК) оценки эффективности СП ЛК. Описанный КК может применяться в совокупности с разными методами принятия рациональных проектных решений. В случае применения МАИ данный КК необходимо преобразовать в соответствии с полученным выше первым условием, определяющим требования к структуре иерархии. Преобразованный для МАИ КК представлен в табл. 2. В преобразованный КК введена дополнительная группа критериев – временные. Данное решение обосновывается практическим опытом проектирования систем приводов, зачастую указывающим на отдачу заказчиками предпочтения организациям, способным осуществить разработку, производство и монтаж всего необходимого комплекса оборудования в самые короткие сроки. Не вошедшие в преобразованный КК критерии эффективности, присутствовавшие в исходном КК, отнесены к техническим ограничениям при проектировании с обязательным условием их реализации. Приведенные в табл. 2 критерии относятся не только к СП, но и к ЛК в целом, что позволяет применять их для комплексной оценки эффективности проектируемых конвейерных установок.

Таблица 2

Критерии оценки эффективности СП ЛК

Группа критериев	Преобразованный КК	Обозначение
Эксплуатационные	а) трудоемкость монтажа и обслуживания СП и ЛК за установленный период времени (чел·час);	К1
Эргономические	а) удобство управления СП;	К2
Временные	а) время, необходимое для создания технического проекта СП и ЛК (мес); б) время, необходимое для производства и монтажа СП и ЛК в соответствии с разработанным техническим проектом (мес);	К3.1 → К3 К3.2 → К3
Экономические	а) стоимость создания технического проекта СП и ЛК (у.е.); б) стоимость закупки стандартных комплектующих для СП и ЛК (у.е.); в) стоимость производства нестандартных комплектующих для СП и ЛК (у.е.); г) стоимость транспортировки комплектующих СП и ЛК к месту монтажа (у.е.); д) стоимость резерва оборудования и вспомогательных материалов для обслуживания СП и ЛК (у.е.).	К4.1 → К4 К4.2 → К4 К4.3 → К4 К4.4 → К4 К4.5 → К4

Описанные критерии обобщают не только отечественный, но и, в том числе, мировой опыт проектирования ЛК. К примеру, при разработке и реализации конвейерной установки, лежащей в основе транспортного соединения 40.10 шахты «Саар» (Германия) в 2003 г. [5] рациональный вариант ЛК определялся по следующим критериям:

1) одноразовые расходы на приобретение установки, конвейерной ленты, приводной техники и электрооборудования, включая запасные части;

2) расходы на подготовку мест монтажа приводов;

3) стоимость и продолжительность монтажа установки;

4) текущие эксплуатационные расходы на обслуживание, технический уход и ремонт;

5) текущие эксплуатационные расходы на энергию и охлаждение;

6) оценка риска в отношении повреждения выработки под воздействием горного давления.

Описанные критерии полностью сопоставимы с предложенными в табл. 2, за исключением последнего, непосредственно не относящегося к проектируемой конвейерной установке. Первые пять экономических критериев можно объединить в один обобщенный, задавшись сроками эксплуатации конвейерной установки. В предложенном в табл. 2 КК критерии текущих эксплуатационных расходов и монтажа переведены в разряд эксплуатационных (критерий К1), что позволяет проводить их измерение в абсолютных единицах (чел·час). В этом случае критерий не зависит от соотношений курсов валют различных стран, представители компаний которых могут взаимодействовать в рамках различных крупных совместных проектов, а также от текущих экономических ситуаций внутри самих государств, определяющих показатели оплаты единиц времени труда рабочих и других специалистов.

В общем случае, при выборе рационального варианта СП ЛК методом анализа иерархий с помощью предложенного выше КК (табл. 2) на втором уровне иерархии, соответствующем расположению критериев, формируется четыре обобщенных критерия (табл. 2), в рамках которых варианты СП ЛК сравниваются по несоразмерным между собой шкалам с учетом принятия методом парных сравнений своей частной формы. Обобщенные критерии не должны обязательно включать в себя все критерии соответствующей группы. Набор критериев в рамках одного обобщенного формируется с учетом требований конкретной проектной ситуации.

Сформированная согласно описанным выше трем условиям (с учетом преобразованного КК) структура иерархии, соответствующая процессу выбора рационального варианта СП ЛК, представлена на рис. 1.

Предложенная структура иерархии исключает наличие проанализированных в данной статье возможных логических и математических ошибок, учитывая корректное применение частной формы метода парных сравнений на её нижнем уровне.

Подводя итог, можно сказать, что предложенная методика на основе МАИ (при соблюдении приведенных в данной статье условий, регламентирующих процесс построения

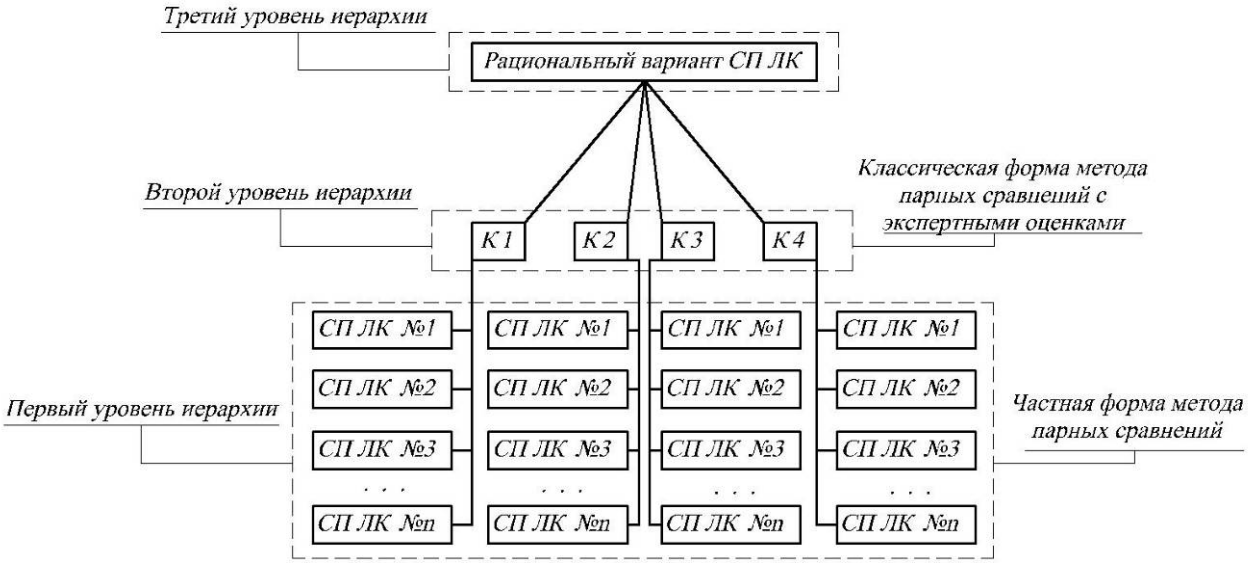

Рис. 1. Сформированная структура иерархии с учетом преобразованного КК

структуры иерархии и решение задачи) применима к любым техническим объектам, при создании которых возникают затруднения, связанные с многокритериальным выбором того или иного направления дальнейшего движения на различных этапах в процессе проектирования.

Список литературы

1. Саати, Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т.Л. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

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

3. Гончаров, К.А. Определение рационального варианта системы приводов ленточного конвейера ЛСТ-1600 / К.А. Гончаров // Вестник БГТУ. - 2011. – №4. – С.33–38.

4. Гончаров, К.А. Обоснование выбора систем приводов протяженных ленточных конвейеров со сложной трассой: дис… канд. техн. наук: 05.05.04. – Брянск, 2011. – 148 с.

5. Келлер, К. Проектирование и реализация транспортного соединения 40.10 / К. Келлер, Ш. Хупперт, Р. Флорек // Глюкауф. – 2004. – №3. – С. 6-16.

Об авторе

Гончаров Кирилл Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», *ptm_bstu@mail.ru.*

SUBSTANTIATION OF SELECTION METHOD OF PREFERRED ALTERNATIVE OF BELT CONVEYOR DRIVE SYSTEMS ON THE BASIS OF THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

K.A. Goncharov

Bryansk State Technical University

This paper provides substantiation of selection method of preferred alternative of belt conveyor drive systems on the basis of the analytic hierarchy process. Conditions for the correct application of the proposed method in the selection process of preferred alternative of technical objects were worked out. The set of criteria of system effectiveness evaluation and the corresponding hierarchical structure in accordance with the developed conditions was proposed.
Keywords: analytic hierarchy process, paired comparison method, belt conveyor, drive system, criteria of effectiveness.

References

1. Saaty T.L. *Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy* [The decision-making. Method of analysis of hierarchies]. Moscow, Radio i svyaz, 1993. 320 p.

2. Podinovski V.V., Podinovskaya O.V. O nekorrektnosti metoda analiza ierarkhiy. *Problemy upravleniya,* 2011, No.1, pp. 8–13.

3. Goncharov K.A. Opredeleniye racionalnogo varianta sistemy privodov lentochnogo konveyera LST-1600. *Vestnik BGTU*, 2011, No.4, pp. 33–38.

4. Goncharov K.A. Justification of the choice of drive systems long belt conveyors with complex route. Cand. Diss. (Engineering). Bryansk. 2011. 147 p.

5. Keller K., Huppert S., Florek R. Proektirovanye i realizaciya transportnogo soedineniya 40.10. *Glueckauf*, 2004, No.3, pp. 6-16.

Author' information

Kirill A. Goncharov – PhD in Technical Sciences, associate Professor, head of the Department "Handling machinery and equipment" at BSTU, Bryansk, Russia, *ptm_bstu@mail.ru*.