

П. С. Романов, д-р техн. наук, проф., e-mail: romanov_p_s@mail.ru,
Коломенский институт (филиал) ФГБОУ ВО "Московский политехнический университет",
г. Коломна,

И. П. Романова, канд. техн. наук, e-mail: irom84@mail.ru
ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский московский государственный
строительный университет" (НИУ МГСУ), г. Москва, 129337

Методика принятия решений по выбору наилучшей технической системы по набору ее характеристик

Рассматривается комплексный подход к принятию решения по выбору наилучшей технической системы по количественным и качественным характеристикам. Оценку вариантов и выбор наилучшего варианта технической системы предлагается проводить на основе методики, построенной с использованием методов спектрального анализа и анализа иерархий. Приводится описание методов, две постановки задачи и алгоритмы решения этими методами. Анализируются недостатки и преимущества указанных методов.

Ключевые слова: принятие решения, техническая система, метод спектрального анализа, метод анализа иерархий, комплексная методика выбора технической системы

Введение

Для выбора лучшей технической системы (ТС) из набора имеющихся ТС должностное лицо, отвечающее за этот выбор (или лицо, принимающее решение (ЛПР)), должно решить следующую задачу.

Выбрать один из вариантов технической системы (одну из представленного модельного ряда технических систем) по ее показателям (количественным и/или качественным характеристикам (параметрам)) на основе критериев выбора, установленных ЛПР.

К таким задачам, в частности, относятся:

- выбор рационального комплекта технологического оборудования для передвижных автомобильных ремонтных мастерских [1, 2];
- выбор варианта станции технического обслуживания автомобилей [3];
- определение лучшего варианта системы освещения производственных помещений ремонтных мастерских (РМ) по техническому обслуживанию и текущему ремонту сельскохозяйственной техники [4–7].

В работах [1–7] предложены методики решения указанных задач для случаев, когда ТС характеризуются количественными или качественными параметрами.

Если известны только числовые оценки характеристик технической системы, то более эффективно проводить выбор рационального

варианта ТС с помощью метода спектрального анализа (МСА) [1, 4, 5]. Часто характеристики сложных технических систем являются не только количественными, но и качественными. В этом случае указанную задачу выбора одного из вариантов ТС в качестве наилучшего предлагается в работах [2, 6–8] решать на основе метода анализа иерархий (МАИ). Применение МАИ дает возможность выбрать рациональный вариант ТС из представленного множества альтернатив по совокупности количественных и качественных параметров. Причем задача принятия решения в этом случае является многокритериальной. При этом варианты ТС по количественным характеристикам эксперты сравнивают на качественном уровне попарно, а потом полученные качественные оценки переводят в числовые относительные показатели на основе шкалы относительной важности, предложенной Т. Саати в [9]. В работах [2, 6–8] все результаты получены с использованием согласованных экспертных оценок.

Постановка задачи

В комплексной методике принятия решений по выбору наилучшей ТС предлагается использовать методы спектрального анализа и анализа иерархий, поэтому приведем постановки задач и алгоритмы решений для этих методов. Рас-

смотрение для наглядности проведем на примере выбора автомобиля по его основным эксплуатационным свойствам из группы автомобилей одного класса.

Рассмотрим метод спектрального анализа на основе положений работы [1].

Пусть есть n вариантов ТС (моделей автомобилей), представленных для сравнения. Обозначим их $ТС_i$, $i = \overline{1, n}$. Известны количественные технические характеристики этих систем (моделей автомобилей) X_j , $j = \overline{1, m}$, с их помощью можно выявить предпочтительность того или иного варианта ТС (автомобиля). Исходя из учета одной характеристики X_j предпочтительность варианта технической системы (автомобиля) $ТС_i$ определяют показателем x_{ij} . Первоначально полагают, что все характеристики равнозначны, т.е. $W_i^{(0)} = 1$, $V_j^{(0)} = 1$, где $W_i^{(0)}$, $V_j^{(0)}$ — значения весовых коэффициентов нулевой итерации соответственно для вариантов ТС (автомобилей) и для их характеристик. Требуется по всей совокупности показателей x_{ij} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, построить ранжированный по предпочтительности ряд вариантов ТС (автомобилей), на основе которого выбрать наилучший из них.

В основе решения данной задачи методом спектрального анализа лежит следующая итерационная процедура:

$$W_i^{(k)} = \sum_{j=1}^m V_j^{(k-1)} \tilde{x}_{ij} / \max_i \sum_{j=1}^m V_j^{(k-1)} \tilde{x}_{ij}; \quad (1)$$

$$V_j^{(k)} = \sum_{i=1}^n W_i^{(k-1)} \tilde{x}_{ij} / \max_j \sum_{i=1}^n W_i^{(k-1)} \tilde{x}_{ij}, \quad (2)$$

где n — число вариантов ТС (автомобилей); m — число технических характеристик; $k = \overline{1, K}$ — номер итерации в итерационном процессе (если $k \rightarrow \infty$, то W_i , $V_j \rightarrow \text{const}$);

$$\tilde{x}_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max\{x_{ij}\}}, & \text{если увеличение } x_{ij} \\ & \text{приводит к улучшению свойств ТС;} \\ \frac{\min\{x_{ij}\}}{x_{ij}}, & \text{если уменьшение } x_{ij} \\ & \text{приводит к улучшению свойств ТС;} \end{cases} \quad (3)$$

$W_i^{(k)}$, $V_j^{(k)}$ — значения весовых коэффициентов k -й итерации для вариантов ТС (автомобилей) и для их характеристик соответственно.

Для решения задачи в [1, 4, 5] предложен следующий алгоритм.

Шаг 1. По формуле (3) рассчитать нормированную матрицу $\{\tilde{x}_{ij}\}$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$.

Шаг 2. По форме табл. 1 построить таблицу для расчетов, куда внести полученные значения $\{\tilde{x}_{ij}\}$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$.

Шаг 3. Для первой итерации ($k = 1$) по формуле (1) провести расчет значений $W_i^{(1)}$, при $V_j^{(0)} = 1$, $\tilde{x}_{ij}$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$ берут из табл. 1. Полученные значения $W_i^{(1)}$ записать в табл. 1.

Шаг 4. Провести вторую итерацию ($k = 2$). По формуле (2) рассчитать $V_j^{(2)}$, используя данные, полученные в п. 1 и п. 3 алгоритма. Записать их в табл. 1.

5. Далее рассчитать значения $W_i^{(k)}$ для нечетных итераций и $V_j^{(k)}$ — для четных согласно шагам 3, 4 алгоритма. Вычисления необходимо проводить до тех пор, пока значения $W_i^{(k)}$ и $V_j^{(k)}$ не примут значения весовых коэффициентов, полученных на предыдущей итерации. Так пошагово заполняется табл. 1.

Если расчеты проводить на ПЭВМ, то k задают заранее. Значения весовых коэффициентов обычно начинают повторяться при $k \geq 7$ [1, 4], исходя из этого и надо выбирать значение k .

6. Далее провести расчет $W_i^{(k)}$ и $V_j^{(k)}$ по формулам (1), (2), начав с нахождения $V_j^{(1)}$ при условии, что $W_i^{(0)} = 1$, и далее по указанному ранее алгоритму заполнить оставшиеся строки и столбцы в табл. 1.

Таблица 1

Форма записи промежуточных расчетов

V_j	V_1	...	V_j	...	V_m	$W_i^{(0)}$	$W_i^{(1)}$	$W_i^{(2)}$	$W_i^{(3)}$
W_1	$\tilde{x}_{11}$	...	$\tilde{x}_{1j}$	...	$\tilde{x}_{1m}$	1	$W_1^{(1)}$		$W_1^{(3)}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
W_i	$\tilde{x}_{i1}$	...	$\tilde{x}_{ij}$	...	$\tilde{x}_{im}$	1	$W_i^{(1)}$		$W_i^{(3)}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
W_n	$\tilde{x}_{n1}$	...	$\tilde{x}_{nj}$	...	$\tilde{x}_{nm}$	1	$W_n^{(1)}$		$W_n^{(3)}$
$V_j^{(0)}$	1	...	1	...	1				
$V_j^{(1)}$		...		...					
$V_j^{(2)}$	$V_1^{(2)}$	...	$V_j^{(2)}$	...	$V_m^{(2)}$				
$V_j^{(3)}$		...		...					
$V_j^{(4)}$	$V_1^{(4)}$	...	$V_j^{(4)}$	...	$V_m^{(4)}$				

7. Получив на какой-то итерации (или заданной итерации) повторяющиеся значения $W_i^{(k)}$, построить на их базе ранжированный ряд вариантов ТС, $i = \overline{1, n}$, технической системы (автомобилей).

8. Выбрать оптимальный вариант ТС (автомобиля) — ТС_о по формуле

$$W_o = \max_i W_i^{(k)},$$

где W_o — весовой коэффициент k -й итерации варианта ТС, имеющий наибольшее значение.

Для решения задачи выбора наилучшей ТС (модели автомобиля) из группы автомобилей, относящихся к одному классу, по основным качественным характеристикам с помощью МАИ, описанному в работе [2], приведем следующую постановку задачи.

Постановка задачи. Покупатель (автопредприятие) изучает возможность покупки автомобиля из модельного ряда автомобилей, относящихся к одному классу. Эксперты [10] определили пять качественных характеристик (критериев), которым должен удовлетворять автомобиль. Задача заключалась в выборе одного из четырех вариантов автомобилей: Ford Focus, Mazda3, Nissan Sentra, Skoda Octavia.

При рассмотрении выбранных моделей автомобилей эксперты [10] предложили следующие качественные характеристики.

Рабочее место водителя. *Сиденье, органы управления, обзор.* Неплохо устроиться можно в каждом автомобиле, однако Nissan слегка отстает от конкурентов, водительское кресло со скромным диапазоном регулировок по длине установлено слишком высоко, руль слишком дешевый, зато у него обзорность отличная, тонкие передние стойки сочетаются с камерой заднего вида. Ford при наличии камеры имеет толстые стойки. Skoda и Mazda имеют хорошую обзорность.

Салон. *Передняя и задняя части, багажник.* К эргономике серьезных претензий нет. Skoda имеет продуманный и просторный салон, особенно на уровне плеч, удобство посадки водителя. Mazda и Ford имеют тесный во всех измерениях задний ряд. Nissan гораздо просторнее. Но в Nissan неудачно (на уровне головы) расположены потолочные ручки, в Skoda отсутствует центральный подголовник. Кроме того, Skoda имеет огромный функциональный багажник.

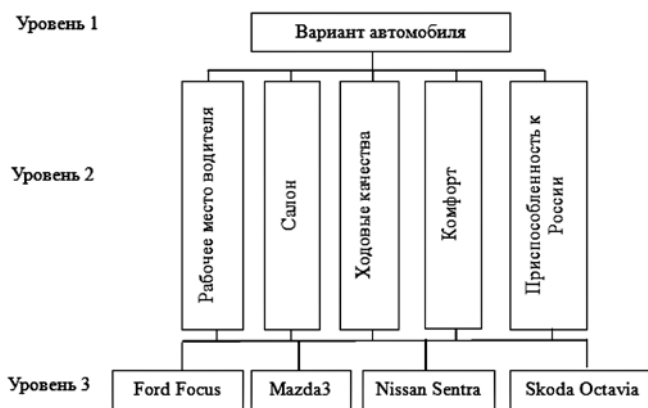
Ходовые качества. *Динамика, тормоза, поведение на дороге.* Ни один из автомобилей не является резвым, особенно Skoda. Mazda страдает плохой информативностью педали тормоза, но имеет хорошую управляемость. Ford обладает эффективными тормозами по сравнению с другими моделями, но у него неоднозначны настройки электроусилителя руля. Nissan — худший по управляемости, но имеет хорошие тормоза.

Комфорт. *Шум, плавность хода, климат.* Mazda — самая шумная в квартете. У Skoda двигатель шумит при разгоне, но при равномерном движении — самый тихий. Nissan — лидер по плавности хода. Mazda является аутсайдером по плавности хода. По показателю климат — лучший автомобиль Ford, так как обладает обогревом руля и лобового стекла. У всех автомобилей, кроме Skoda, — двухзонный климат-контроль, а у нее обычный кондиционер, но она имеет дефлекторы обдува заднего дивана.

Приспособленность к России. *Геометрическая проходимость, сервис, эксплуатация.* У всех машин приличный клиренс. Skoda имеет меньший срок гарантии, чем другие машины, но у нее нет ограничений по пробегу. Ford имеет заливную горловину без пробки. Остальные параметры у машин одинаковые.

Кратко опишем процедуру решения задачи на базе МАИ на примере технических систем — моделей автомобилей для задачи, приведенной выше; подробно методический аппарат описан в [2, 6–8].

На первом этапе проводим декомпозицию и представляем задачу в иерархической форме (графическое представление иерархии приведено на рисунке).



Декомпозиция задачи в иерархию

На данном этапе определяют не только цель — верхний уровень иерархии — вариант автомобиля, но и критерии, по которым проводится выбор. В данном случае выбраны только качественные характеристики автомобилей (критерии): *Рабочее место водителя, Салон, Ходовые качества, Комфорт, Приспособленность к России* (они подробно описаны ранее). На уровне 3 находятся модели (варианты) автомобилей, которые рассматриваются в задаче.

На втором этапе для получения матриц суждений уровней 2 и 3 применяем принцип дискриминации и сравнительных суждений. Последовательно проводим парные сравнения с использованием табл. 2.

В результате получим одну квадратную матрицу для уровня 2 иерархии и пять матриц суждений размерностью 4×4 для уровня 3, так как имеется пять критериев на уровне 2 (табл. 3) и четыре альтернативных варианта автомобилей. В табл. 4 приведен пример одной из матриц для критерия "Ходовые качества".

На третьем этапе вычисляем множество собственных векторов для каждой матрицы уровней 2 и 3 иерархии, а затем нормируем результат к единице, получая тем самым векторы приоритетов для каждой матрицы уровней 2 и 3 иерархии (см. табл. 3, 4). Используем для этого геометрическое среднее.

Таблица 2

Шкала относительной важности [9]

Интенсивность относительной важности	Качественная оценка интенсивности относительной важности	Пояснения
1	Равная важность	Равный вклад двух объектов (деятельности) в цель
3	Умеренное превосходство одного над другим	Опыт и суждения дают легкое превосходство одного объекта (вида деятельности) над другим
5	Существенное или сильное превосходство	Опыт и суждения дают сильное превосходство одного объекта (вида деятельности) над другим
7	Значительное превосходство	Один объект (вида деятельности) имеет настолько сильное превосходство, что оно становится практически значительным
9	Очень сильное превосходство	Очевидность превосходства одного объекта (вида деятельности) над другим подтверждается наиболее сильно
2, 4, 6, 8	Промежуточные решения между двумя соседними суждениями	Применяются в компромиссном случае
Обратные величины приведенных выше чисел	Если при сравнении одного объекта (вида деятельности) с другим получено одно из приведенных выше чисел (например, 3), то при сравнении второго объекта (вида деятельности) с первым получим обратную величину (т.е. $1/3$)	

Таблица 3

Матрица попарных сравнений для уровня 2 (для уровня критериев)

Общее удовлетворение вариантом	Ходовые качества	Приспособленность к России	Рабочее место водителя	Салон	Комфорт	Вектор приоритетов	Y_i
Ходовые качества	1	2	3	5	7	0,423	2,173
Приспособленность к России	1/2	1	3	5	7	0,320	1,641
Рабочее место водителя	1/3	1/3	1	2	3	0,134	0,674
Салон	1/5	1/5	1/2	1	2	0,076	0,385
Комфорт	1/7	1/7	1/3	1/2	1	0,047	0,235
$\lambda_{\max} = 5,107$			ИС = 0,027		ОС = 0,024		

Таблица 4

Матрица попарных сравнений для критерия "Ходовые качества" для уровня 3 (уровня вариантов)

Ходовые качества	Ford Focus	Mazda3	Nissan Sentra	Skoda Octavia	Вектор приоритетов	Y_i
Ford Focus	1	1	1	2	0,291	1,245
Mazda3	1	1	1/2	1/2	0,173	0,732
Nissan Sentra	1	2	1	1	0,291	1,173
Skoda Octavia	1/2	2	1	1	0,245	1,028
$\lambda_{\max} = 4,177$		ИС = 0,059		ОС = 0,066		

Таблица 5

Таблица средних значений СИ [9]

Порядок матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СИ	0,00	0,00	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

На четвертом этапе вычисляем собственное значение матрицы суждений, индекса согласованности и отношения согласованности для каждой матрицы уровней 2 и 3 иерархии. Собственное значение каждой из матриц суждений $\lambda_{\max}$ определим по формуле (результаты приведены в табл. 3, 4):

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n Y_i,$$

где значения Y_i получено перемножением каждой из матриц суждений на свой вектор приоритетов (приведены в табл. 3, 4).

Вычисление индекса согласованности ИС проводим по формуле

$$\text{ИС} = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1),$$

где n — число сравниваемых элементов (в данной задаче для уровня 2 $n = 5$, для каждой из матриц уровней 3 $n = 4$).

Надо заметить, что для обратно симметричной матрицы всегда $\lambda_{\max} \geq n$. Результаты для уровня 2 приведены в табл. 3, в табл. 4 представлены результаты вычислений для одного из критериев уровня 3.

Рассчитаем отношение согласованности ОС по формуле: $\text{ОС} = \text{ИС}/\text{СИ}$, где значение случайного индекса СИ берется из табл. 5 [9]. Результаты вычислений приведены в табл. 3, 4.

На пятом этапе применяем иерархический синтез для взвешивания собственных векторов

весами критериев и вычисляем сумму по всем соответствующим взвешенным компонентам собственных векторов уровня иерархии, лежащего ниже. Для получения обобщенных или глобальных приоритетов вариантов ТС (автомобилей) в матрице локальные приоритеты располагаются по отношению к каждому критерию, каждый столбец векторов умножается на приоритет соответствующего критерия и результат складывается вдоль каждой строки. Результаты представлены в табл. 6.

На шестом этапе находим согласованность всей иерархии, перемножая каждый индекс согласованности на приоритет соответствующего критерия и суммируя полученные числа. Отношения согласованности для всех матриц уровней 2 и 3 не превышают 10 % (согласно [9] ОС должно быть около или менее 10 %), поэтому можно утверждать, что мнения экспертов при оценке выбранных для оценки автомоби-

Таблица 6

Глобальные приоритеты

Модели автомобилей	Вектор приоритетов критериев оценки автомобилей					Обобщенные (глобальные) приоритеты
	0,423	0,320	0,134	0,076	0,047	
Ford Focus	0,291	0,286	0,286	0,096	0,347	0,276
Mazda3	0,173	0,143	0,286	0,096	0,074	0,168
Nissan Sentra	0,291	0,286	0,143	0,249	0,406	0,272
Skoda Octavia	0,245	0,286	0,286	0,558	0,173	0,284

лей критериев, а также при сравнении вариантов моделей автомобилей по этим критериям согласованы. Согласованность всей иерархии составила 3 %.

Результаты решения

Приведем результаты решения примера по выбору автомобиля из группы автомобилей, относящихся к одному классу, по их основным эксплуатационным свойствам:

- *количественным характеристикам:* снаряженная масса; время разгона автомобиля до 100 км/ч; максимальная скорость; расход топлива; мощность двигателя; крутящий момент; объем багажника (исходные данные для четырех моделей автомобилей одного класса Ford Focus, Mazda3, Nissan Sentra, Skoda Octavia, взятые из работы [10], приведены в табл. 7);
- *качественным характеристикам:* рабочее место водителя; салон; ходовые качества; комфорт; приспособленность к России (подробное их описание приводится ранее при рассмотрении МАИ).

На базе исходных данных, приведенных в табл. 7, на основе метода спектрального анализа, с помощью компьютерной программы (разработана в программном продукте Delphi 7, число итераций $k = 10$) получены следующие результаты по сравнительной оценке вариантов автомобилей и количественных характеристик, используемых для сравнения.

В результате вычислений был получен ранжированный ряд вариантов автомобилей: Nissan Sentra, Skoda Octavia, Mazda3, Ford Focus (итоговые показатели: 1; 0,9822; 0,9798; 0,9759). При этом характеристики вариантов системы

освещения по важности в результате вычислений ранжируются следующим образом: Снаряженная масса, Крутящий момент, Максимальная скорость, Время разгона до 100 км/ч, Мощность двигателя, Расход топлива, Объем багажника (итоговые показатели: 1,00; 0,9951; 0,9911; 0,9854; 0,9592; 0,9123; 0,8713).

Опираясь на оценки экспертов по указанным ранее качественным характеристикам четырех моделей автомобилей, приведенные в [10], с помощью компьютерной программы, составленной на основе алгоритма решения задачи на базе МАИ в программной среде Turbo Delphi, был получен следующий ранжированный ряд вариантов автомобилей: Skoda Octavia, Ford Focus, Nissan Sentra, Mazda3 (итоговые показатели: 0,284; 0,276; 0,272; 0,168). Решение на основе МАИ приведено ранее при рассмотрении процедуры вычислений по указанному методу. Полученные результаты хорошо согласованы и совпадают с результатами экспертной оценки автомобилей, приведенной в [10].

Отметим следующие недостатки и достоинства методов спектрального анализа и анализа иерархий, полученные в ходе исследований (см. [11, 12]).

Преимущество метода спектрального анализа состоит в отсутствии субъективных оценок при подборе исходных показателей и в расчетах.

Рекомендуется его применять при сравнении по количественным характеристикам вновь разрабатываемых ТС, "вес" характеристик которых еще не определен однозначно, а также для сравнительного анализа ТС по числовым показателям, когда не требуется определять ранжированный ряд этих показателей.

Недостатки МСА: его применение возможно только для однозначно заданных числовых

Таблица 7

Основные характеристики автомобилей [10]

Модель автомобиля	Характеристики						
	Снаряженная масса, кг	Время разгона до 100 км/ч, с	Максимальная скорость, км/ч	Расход топлива, л	Мощность двигателя, кВт	Крутящий момент, Н·м	Объем багажника, л
Ford Focus	1284	11,8	195	8,7	92	159	388
Mazda3	1287	11,6	191	7,4	88	150	384
Nissan Sentra	1267	11,3	184	8,1	86	158	488
Skoda Octavia	1250	12,0	190	9,0	81	155	520

характеристик, отсутствует учет важности характеристик. Хотя при использовании МСА имеется возможность учета важности характеристик ТС при проведении расчетов, если эту важность заранее задать с привлечением экспертов, но тогда важность характеристик станет субъективной величиной.

Преимущества МАИ. Метод анализа иерархий применим при многовариантном выборе по совокупности характеристик. Данные характеристики, во-первых, могут быть как количественными, так и качественными или набором тех и других; во-вторых, имеют заданную важность ("вес").

К недостатку МАИ можно отнести субъективные качественные оценки важности критериев и оценки приоритета того или иного варианта ТС по каждому из выбранных критериев. В последующих вычислениях по МАИ субъективизм отсутствует. Кроме того, для определения согласованности мнений экспертов вычисляют отношения согласованности.

Таким образом, МСА и МАИ имеют недостатки и достоинства и их использование определяется условиями конкретной задачи выбора наилучшего варианта ТС.

Вместе с тем, покупателю технической системы (например, автомобиля) хотелось бы иметь количественную интегральную оценку по всей совокупности характеристик, на базе которой можно провести выбор наилучшей ТС (наилучшего автомобиля) из предложенной совокупности.

В работе [13] рассмотрены различные свертки критериев, которые были использованы для принятия решения по выбору наилучшего варианта ТС по совокупности ее характеристик.

Для нивелирования недостатков и усиления достоинств методов предлагается комплексный подход, позволяющий принимать решение по выбору наилучшего варианта ТС по количественным и качественным характеристикам на основе двух методов.

В данном случае процедура получения интегральной количественной оценки по каждому из вариантов технической системы и порядок построения ранжированного ряда вариантов этой системы будут следующими.

1. Определяем характеристики предложенных вариантов технических систем, как количественные, так и качественные, по которым будем выбирать наилучшую техническую систему.

2. Проводим ранжирование вариантов ТС и их количественных характеристик на основе метода спектрального анализа. В результате расчетов получаем ранжированный ряд вариантов ТС и ранжированный ряд важности рассматриваемых характеристик.

3. Выполняем нормирование полученных результатов ранжированного ряда вариантов ТС. Для нормирования применяем подход, используемый в методе анализа иерархий. Получаем вектор приоритетов для вариантов ТС по количественным характеристикам.

4. Проводим ранжирование вариантов ТС и их только качественных характеристик на основе МАИ. В результате расчетов получаем вектор приоритетов качественных характеристик (критериев оценки вариантов) и вектор глобальных приоритетов вариантов ТС, полученный для качественных характеристик ТС, на базе последнего получаем ранжированный ряд вариантов ТС.

5. Суммируем полученные векторы приоритетов для количественных и качественных характеристик для каждого варианта ТС.

6. Строим ранжированный ряд вариантов ТС на основе следующего критерия: чем больше сумма соответствующих оценок, полученных в п. 5 алгоритма, тем выше ранг варианта.

7. Анализируем полученные результаты и делаем выводы о наилучшем варианте ТС (чем выше ранг, тем лучше вариант ТС) и о важности той или иной характеристики в принятии решения.

Проведем дальнейшие вычисления на основе данного алгоритма для выбранного примера по выбору лучшего автомобиля из четырех предложенных к рассмотрению. Учтем, что пункты 1, 2, 4 алгоритма уже выполнены, поэтому проведем нормирование полученных результатов ранжированного ряда автомобилей по количественным характеристикам. В результате нормирования был получен ранжированный ряд автомобилей: Nissan Sentra, Skoda Octavia, Mazda3, Ford Focus (итоговые показатели: 0,2539; 0,2494; 0,2488; 0,2478). После выполнения п. 5, 6 алгоритма получим следующий ранжированный ряд автомобилей: Skoda Octavia; Nissan Sentra; Ford Focus; Mazda3 (итоговые показатели: 0,533; 0,526; 0,524; 0,417).

Проанализируем полученные результаты. Если рассматривать ранжированный ряд, полученный на основе МАИ (Skoda Octavia, Ford

Focus, Nissan Sentra, Mazda3), то учет количественных характеристик вывел на 2-е место NissanSentra, сместив на 3-е место Ford Focus, но преимущество Nissan Sentra перед Ford Focus незначительно. Остальные автомобили остались на своих местах. Лучшим по количественным и качественным характеристикам является автомобиль Skoda Octavia.

Надо отметить, что результаты оценки зависят от выбранной совокупности характеристик (количественных и качественных). Важно правильно выбрать из большого числа характеристик основные количественные и наиболее важные качественные показатели.

Заключение

Выбор конкретных характеристик технических систем для сравнительной оценки вариантов является субъективным и зависит от руководителя организации (предприятия) или покупателя данной ТС. Так, например, покупатель автомобиля к основным качественным характеристикам, важным лично для него, может отнести дизайн или цвет автомобиля, а не вместимость багажника, или геометрическую проходимость.

Совместное применение методов спектрального анализа и анализа иерархий при выборе наилучшего варианта технической системы позволяет несколько снизить субъективизм в принятии решения, особенно в условиях, когда требуется быстрая оценка альтернативных вариантов.

Предлагаемая комплексная методика принятия решений по выбору наилучшего варианта технической системы по совокупности ее количественных и качественных характеристик может быть использована не только для решения задачи выбора лучшего автомобиля из имеющегося набора, но и для выбора любых других технических систем.

Список литературы

1. Романов П. С. К выбору рационального комплекта технологического оборудования для передвижных автомобильных ремонтных мастерских // Вестник Коломенского государственного педагогического института. 2008. № 1 (5). С. 129—135.

2. Романов П. С. Обоснование выбора рационального комплекта технологического оборудования для передвижных автомобильных ремонтных мастерских в условиях неопределенности // Вестник Коломенского государственного педагогического института. 2009. Вып. № 1 (7). С. 91—96.

3. Романов П. С. Методика выбора варианта станции технического обслуживания автомобилей в рыночных условиях // Вестник Московского государственного областного социально-гуманитарного института. 2011. Т. 1, № 11. С. 147—151.

4. Кафиев И. Р., Романов П. С. Выбор рационального варианта устройства освещения мастерских по ремонту сельскохозяйственных машин // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2013. № 2 (26). С. 83—86.

5. Кафиев И. Р., Романов П. С. К вопросу проектирования устройства освещения ремонтных мастерских сельскохозяйственных предприятий с использованием энергосберегающих технологий // Достижения современной науки в области энергосбережения. Материалы Первой международной научно-практической конференции. Чебоксары: ЧСХА, 2013. С. 145—148.

6. Кафиев И. Р., Романов П. С. Методика выбора проекта системы освещения для ремонтных мастерских сельскохозяйственных предприятий в рыночных условиях // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2014. № 2. С. 78—82.

7. Кафиев И. Р., Романов П. С., Романова И. П. Методика принятия решения по выбору проекта системы освещения для ремонтных мастерских сельскохозяйственных предприятий // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2015. № 1 (33). С. 82—89.

8. Кафиев И. Р., Романов П. С., Романова И. П. К вопросу выбора проекта системы освещения для ремонтных мастерских сельскохозяйственных предприятий в условиях неопределенности // Современные проблемы науки и образования в техническом вузе. Материалы II Международной научно-практической конференции. Стерлитамак: УГАТУ, 2015. С. 162—167.

9. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем / Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.

10. Тестирование Ford Focus, Mazda3, Nissan Sentra, Skoda Octavia // За рулем. 2015. № 10 (1012). С. 92—93.

11. Кафиев И. Р., Романов П. С., Романова И. П. Сравнительная оценка методов принятия решений по выбору проекта системы освещения для ремонтных мастерских сельскохозяйственных предприятий // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2015. № 3 (35). С. 48—52.

12. Кафиев И. Р., Романов П. С., Романова И. П. Сравнение двух методик принятия решений на примере выбора рационального проекта системы освещения для ремонтных мастерских сельскохозяйственных предприятий // Российский электронный научный журнал. 2015. № 3 (17). С. 19—35.

13. Романов П. С. Обоснование путей построения автоматизированных систем управления артиллерийскими формированиями на основе новых информационных технологий. Коломна: КГПИ, 2005. 398 с.

P. S. Romanov, D. Sc., Professor, e-mail: romanov_p_s@mail.ru,
Kolomna Institute (branch) of Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education "Moscow Polytechnical University" (Kolomna),

I. P. Romanova, Ph. D., e-mail: irom84@mail.ru,
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research Moscow State
University of Civil Engineering" ((NRU MSUCE)), Moscow, 129337, Russian Federation

Decision-making Methodology for Choosing the Best Technical System for the Recruitment of its Characteristics

The article discusses an integrated approach to decision-making for choosing the best technical system in the quantitative and qualitative characteristics. The evaluation of options and selection of the best variant of technical system it is proposed to carry out based on the methods constructed using methods of spectral analysis and analytic hierarchy process. The description of the methods, two formulations of the problem and its solution algorithms these methods. Analyzes the advantages and disadvantages of these methods. Indicates that combined use of methods of spectral analysis and analytic hierarchy process in selecting the best variant of technical system allows to somewhat reduce the subjectivity in decision-making, especially in conditions that require rapid evaluation of alternatives, and to mitigate the disadvantages and enhance the advantages of these methods. The method may find application in the selection of the best variant of technical system for the totality of its quantitative and qualitative characteristics in various sectors of the economy.

Keywords: the decision, technical system, the method of spectral analysis, analytic hierarchy process, a comprehensive methodology for the selection of the technical system

DOI: 10.17587/it.24.445-453

References

1. **Romanov P. S.** K vyboru racional'nogo kompleksa tehnologicheskogo oborudovaniya dlja peredvizhnyh avtomobil'nyh remontnyh masterskih, *Vestnik Kolomenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo instituta*, 2008, no. 1 (5), pp. 129–135 (in Russian).

2. **Romanov P. S.** Obosnovanie vybora racional'nogo kompleksa tehnologicheskogo oborudovaniya dlja peredvizhnyh avtomobil'nyh remontnyh masterskih v usloviyah neopredelennosti, *Vestnik Kolomenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo instituta*, 2009, no. 1 (7), pp. 91–96 (in Russian).

3. **Romanov P. S.** Metodika vybora variant stancii tehnicheskogo obsluzhivaniya avtomobilej v rynochnykh usloviyah, *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo social'no-gumanitarnogo instituta*, 2011, no. 11, pp. 147–151 (in Russian).

4. **Kafiev I. R., Romanov P. S.** Vybora racional'nogo variant ustrojstva osveshheniya masterskih po remontu sel'skohozjajstvennyh mashin, *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, no. 2 (26), pp. 83–86 (in Russian).

5. **Kafiev I. R., Romanov P. S.** K voprosu proektirovaniya ustrojstva osveshheniya remontnyh masterskih sel'skohozjajstvennyh predpriyatij s ispol'zovaniem jenergosberegajushhih tehnologij, *V sbornike: "Dostizheniya sovremennoj nauki v oblasti jenergosberezheniya". Materialy pervoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Cheboksary, CSHA, 2013, pp. 145–148 (in Russian).

6. **Kafiev I. R., Romanov P. S.** Metodika vybora proekta sistemy osveshheniya dlja remontnyh masterskih sel'skohozjajstvennyh predpriyatij v rynochnykh usloviyah *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, no. 2, pp. 78–82 (in Russian).

7. **Kafiev I. R., Romanov P. S., Romanova I. P.** Metodika prinjatija reshenija po vyboru proekta sistemy osveshheniya dlja remontnyh masterskih sel'skohozjajstvennyh predpriyatij, *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, no. 1 (33), pp. 82–89 (in Russian).

8. **Kafiev I. R., Romanov P. S., Romanova I. P.** K voprosu vybora proekta sistemy osveshheniya dlja remontnyh masterskih sel'skohozjajstvennyh predpriyatij v usloviyah neopredelennosti (To the choice of project lighting system for repair shops of agricultural enterprises in conditions of uncertainty), *V sbornike: Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya v tehničeskom vuze Materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, Sterlitamak, UGATU, 2015, pp. 162–167 (in Russian).

9. **Saati T., Kerns K.** *Analiticheskoe planirovanie*, Moscow, Radio and communication, 1991. 224 p. (in Russian).

10. **Testirovanie** Ford Focus, Mazda3, Nissan Sentra, Skoda Octavia (Testing the Ford Focus, Mazda3, Nissan Sentra, Skoda Octavia), *Za rulem*, 2015, no. 10 (1012), pp. 92–93 (in Russian).

11. **Kafiev I. R., Romanov P. S., Romanova I. P.** Sravnitel'naja ocenka metodov prinjatija reshenij po vyboru proekta sistemy osveshheniya dlja remontnyh masterskih sel'skohozjajstvennyh predpriyatij, *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, no. 3 (35), pp. 48–52 (in Russian).

12. **Kafiev I. R., Romanov P. S., Romanova I. P.** Sravnenie dvuh metodik prinjatija reshenij na primere vybora racional'nogo proekta sistemy osveshheniya dlja remontnyh masterskih sel'skohozjajstvennyh predpriyatij, *Rossijskij jelektronnyj nauchnyj zhurnal*, 2015, no. 3 (17), pp. 19–35 (in Russian).

13. **Romanov P. S.** Obosnovanie putej postroenija avtomatizirovannyh sistem upravleniya artillerijskimi formirovanijami na osnove novykh informacionnyh tehnologij, Kolomna: KGPI, 2005. 398 p. (in Russian).