

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

канд. техн. наук, доц. **Н.В. ВОЛОДАРЕЦ**
(Донецкая академия транспорта)

Усовершенствована методика определения технического уровня транспортного средства, имеющего любой тип привода. Разработан алгоритм методики оценки технического уровня транспортного средства. Приведена номенклатура показателей, характеризующих гибридное транспортное средство при выполнении определенного вида работы. Методика опробована на гибридном транспортном средстве. Подтверждена эффективность ее использования в процессе принятия решения об обновлении подвижного состава.

Ключевые слова: технический уровень, транспортное средство, экспертные оценки, качество продукции, метод весовых коэффициентов.

Введение. Сегодня на всех видах транспорта в большей или меньшей степени требуется обновление подвижного состава. Для определения необходимости его обновления требуется оценить эффективность и целесообразность такого решения. На первом этапе необходимо определить технический уровень транспортного средства.

Цель работы: совершенствование методики определения технического уровня транспортного средства.

Основная часть. Обзор существующих методик определения технического уровня объекта. Технический уровень объекта представляет собой количественную характеристику степени его технического совершенства и представляет собой составную часть технической оценки при общей оценке качества транспортных средств (рисунок 1) [1].

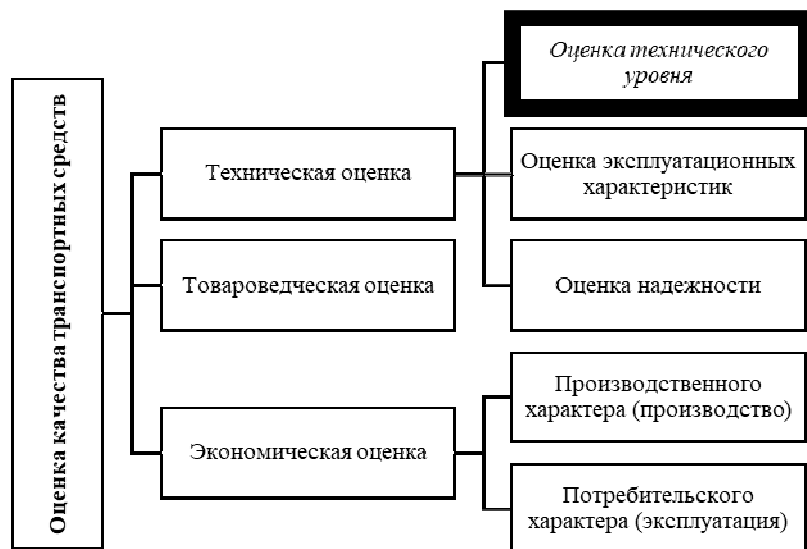


Рисунок 1. – Структура оценки качества транспортных средств

Понятие «технический уровень» продукции определяется ГОСТ 15467-79¹ и трактуется как часть общего качества продукции: это относительная характеристика качества продукции, основанная на сопоставлении значений показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции, с соответствующими базовыми значениями. Под оценкой технического уровня понимается «... совокупность операций, включающая выбор номенклатуры показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции, определение значений этих показателей и сопоставление их с базовыми»¹.

Одними из основных способов определения технического уровня являются [1]: определение на основе нормативно-технической документации; определение по аналогу; математические методы определения. При этом технический уровень транспортных средств имеет определенную размерность, которая может выражаться

¹ ГОСТ 15467-79 Управление качеством продукции. главные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 24 с.

в различных технических и информационных единицах измерения. Следовательно, методы определения технического уровня транспортных средств в зависимости от размерности коэффициента технического уровня можно разделить на методы определения: с безразмерным коэффициентом технического уровня; с коэффициентом технического уровня, имеющие определенную размерность; со смешанной размерностью коэффициента технического уровня (рисунок 2).



Рисунок 2. – Классификация методов определения технического уровня транспортного средства в зависимости от размерности коэффициента технического уровня

При сравнении фактических значений характеристик свойства продукции с базовыми значениями удобно воспользоваться относительными значениями. Уровень качества при этом будет определяться совокупностью относительных значений или их функциями. Приведенные стандартные определения имеют четкую направленность на то, чтобы получать безразмерные числа, не имеющие физического содержания, но удобные для расчетных работ. Чтобы сгладить этот недостаток, важность каждого числа определяется его коэффициентом значимости² [1–3]. В проектно-конструкторских и проектно-технологических разработках приводятся, как правило, большое количество расчетных параметров. Поэтому, чтобы оценить перспективность новых разработок транспортных средств по сравнению с существующими в серийном производстве, необходимо найти алгоритм, позволяющий свести большое количество параметров к оптимальному количеству критериев. В методе информационного прогнозирования преобразование информации осуществляется по критерию технического уровня.

Критерий технического уровня методом весовых коэффициентов характеризует новую проектно-конструкторскую разработку в отношении существующих объектов техники того же производственного назначения и рассчитывается по формуле, приведенной в работах² [2; 3]:

$$K_{TP} = \frac{\sum_{i=1}^{i=qr} k_n \varphi(i)}{\sum_{i=1}^{i=qr} \varphi(i)}, \quad (1)$$

где K_{TP} – критерий технического уровня;

k_n – параметр, представляющий собой отношение числовых параметров новой разработки к параметрам существующих объектов для рациональных категорий (рост параметра соответствует техническому прогрессу) и нерациональных категорий (рост параметра не соответствует техническому прогрессу);

$\varphi(i)$ – функция, нормирующая вес параметров в ранжированной последовательности, $i = 1 \dots qr$.

Лучшему из сравниваемых транспортных средств соответствует большее значение коэффициента K_{TP} .

Усовершенствование существующих методов определения технического уровня транспортного средства. Был усовершенствован метод определения технического уровня транспортного средства за счет следую-

² Фалендыш А.П. Оценка технического уровня маневровых тепловозов для железных дорог Украины: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. – Харків: ХарГАЖТ, 1997. – 186 л.

щего. В части определения веса параметров в ранжированной последовательности вместо использования экспертного метода внедрена функция $\varphi(i)$, согласно которой этот показатель определяется по формуле

$$\varphi(i) = \frac{i}{2^{i-1}}, \quad i \geq 2, \quad (2)$$

где i – номер технического параметра в ранжированной последовательности (причем по определению $\varphi(1) = 2$ – особая точка).

В части номенклатуры параметров был введен вместо эффективной мощности параметр общей мощности силовых установок транспортного средства, включающий в себя мощность всех силовых установок, установленных на транспортном средстве. Это позволяет учесть, например, использование гибридного привода на транспортном средстве.

Алгоритм определения оценки технического уровня транспортного средства представлен на рисунке 3.

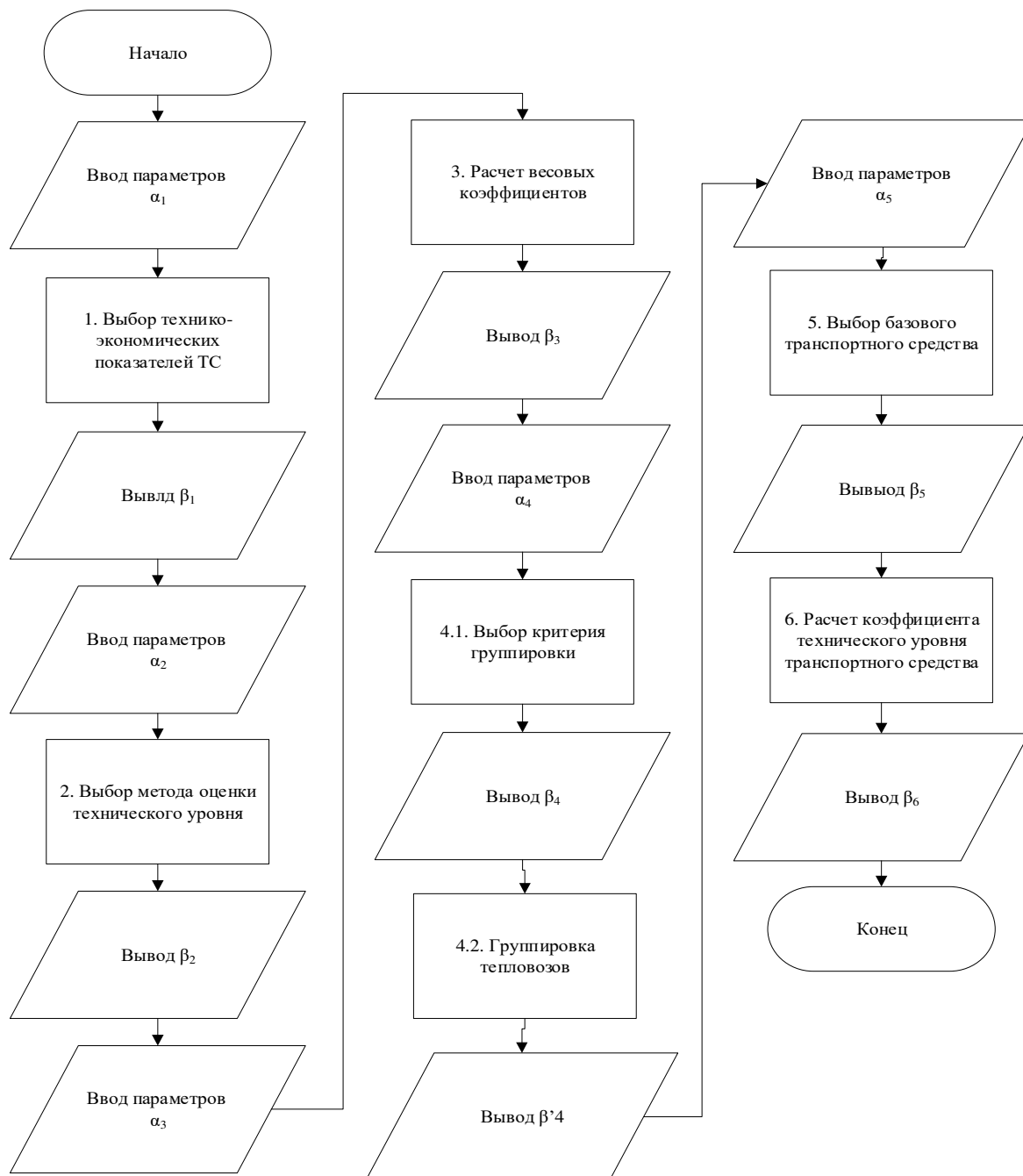


Рисунок 3. – Алгоритм методики оценки технического уровня транспортного средства

Определение технического уровня транспортного средства. На первом этапе осуществляется выбор технико-экономических показателей транспортного средства по разработанной процедуре (блок 1, см. рисунок 3).

Одним из основных вопросов при определении технического уровня транспортного средства является выбор рациональной номенклатуры показателей, наиболее полно характеризующих рассматриваемый вид транспорта.

Определим технический уровень транспортного средства на примере маневрового тепловоза (МТ).

Для выбора технических характеристик транспортного средства можно использовать один из способов: выбор характеристик на базе научно-технической документации; выбор показателей на основе сравнения с транспортным средством образца; выбор характеристик по аналогу с другими видами транспортного средства; выбор характеристик математическими способами; выбор характеристик экспертным способом.

Использование первого способа осложнено слаборазвитыми стандартами на гибридные маневровые локомотивы. Второй и третий способы не подходят, т.к. на каждое из транспортных средств в технической документации приводятся данные по более ста показателям, относящимся и к нему в целом, и к отдельным узлам. Поэтому выбрать оптимальную номенклатуру показателей практически невозможно.

Одним из способов выбора номенклатуры параметров МТ, входящих в группу экспертных, является метод уточняющей гипотезы. Согласно этому методу, первоначально в список параметров включают все параметры, характеризующие новый тепловоз с точки зрения его качества и эффективности. Затем они уточняются, сокращается их количество. При этом должны выполняться следующие основные правила. Ограничение количества рассматриваемых параметров обусловлено невозможностью определения технического уровня с достаточной точностью с точки зрения экономичности. В список параметров необходимо включать незаурядные, т.е. не зависящие друг от друга, параметры. Иными словами, из комбинации двух параметров не должен вытекать третий. Учитывая нормирование весов параметров, некорректно насыщать список малозначимыми параметрами, что подтверждается исследованиями и теорией метода группового учета аргументов. В то же время оценка уровня МТ по нескольким или одному параметру представляется достаточно приближительной.

Математические способы определения номенклатуры параметров являются хотя и более трудоемкими, но и более надежными. Выбор показателей МТ можно выполнять по методикам, основанным на теории множеств, более точно на теории бинарных отношений, как было рассмотрено выше.

В результате анализа существующих методик определения параметров подвижного состава для оценки его технического уровня экспертным методом была выбрана методика определения номенклатуры показателей МТ с использованием теории множеств.

Выбор номенклатуры технических показателей выполняем по критерию полезного экономического эффекта от использования транспортного средства, руб.,

$$\Delta E_{\Sigma} = \Delta E_{\text{экс.вит}} + \Delta E_{\text{иск.}} + \Delta E_{\text{небл.ум}}, \quad (3)$$

где ΔE_{Σ} – суммарный экономический эффект от использования МТ, руб.;

$\Delta E_{\text{экс.вит}}$ – экономический эффект, получаемый от уменьшения эксплуатационных расходов, руб.;

$\Delta E_{\text{иск.}}$ – экономический эффект, получаемый от увеличения объемов выполняемой работы, руб.;

$\Delta E_{\text{небл.ум}}$ – экономический эффект, получаемый от уменьшения затрат при применении в неблагоприятных условиях (эксплуатация в непредвиденных технических заданием условиях), руб.

Массивом входных данных α_1 для расчета служат технико-экономические показатели МТ $\alpha_1 = \{P_i\}$, где P_i – i -е множество технико-экономических показателей локомотива, $i = 1 \dots n$.

Гибридный МТ в целом по критерию полезного эффекта можно охарактеризовать множеством показателей:

$$P = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_n\}. \quad (4)$$

Показатели, характеризующие экономический эффект от уменьшения эксплуатационных расходов, представляют множество P_1 . Полезный эффект, получаемый от увеличения объемов выполняемой работы, – множество показателей P_2 . Экономический эффект от уменьшения затрат при применении в неблагоприятных условиях – множество показателей P_3 . При этом $P_1 \subseteq P$; $P_2 \subseteq P$; $P_3 \subseteq P$.

Экономический эффект от снижения эксплуатационных расходов можно получить за счет следующих мер: уменьшение затрат на ГП (множественное число $P_{1.1}$); уменьшение затрат на экипировку МТ (множественное число $P_{1.2}$); уменьшение затрат на экологию (множественное число $P_{1.3}$); увеличение надежности МТ (множественное число $P_{1.4}$); рациональный подбор локомотива для работы (множественное число $P_{1.5}$).

В результате объединения этих множеств

$$P_1 \supseteq \cup P_{1.1} \cup P_{1.2} \cup P_{1.3} \cup P_{1.4} \cup P_{1.5} = \{g_e, C_m, B_z, T_{св}, R_{ед}, R_{ене}, P_i(L), Q_m, Q_n, Q_o, Q_{нec}, k_{НеМР}\}. \quad (5)$$

где g_e – удельный расход топлива, г/кВт·ч; C_m – цена топлива, грн/т; B_z – среднее эксплуатационный расход топлива МТ за 1 ч, кг/ч; T_{cl} – срок службы МТ, лет; R_{ed} – ресурс ДГУ; R_{ene} – ресурс НЕ; $P_i(L)$ – вероятность безотказной работы МТ к ремонтам и за весь срок службы; Q_m – запас топлива МТ, т; Q_{ω} – запас масла МТ, т; Q_e – запас воды МТ, т; Q_{nec} – запас песка МТ, т; $k_{НеМР}$ – коэффициент использования мощности тепловоза для маневровых работ.

Рассмотрим меры, направленные на получение экономического эффекта от увеличения объемов эксплуатационных работ. Маневровые локомотивы можно использовать при выполнении и маневровой работы, и вывозной. Но большую часть времени они выполняют маневровую работу. Потому в дальнейшем будем рассматривать работу МТ только как маневровую. К мерам, направленным на увеличение объемов эксплуатационных работ, можно отнести мероприятия, ориентированные на наращивание: касательной мощности МТ; конструкционной скорости МТ; продолжительности работы МТ; касательной силы тяги МТ; эффективной мощности МТ; службы МТ; а также на рациональный подбор состава МТ для работы. К техническим параметрам МТ, характеризующим данные меры, можно отнести: F_{∞} – силу тяги длительного режима, кН; v_{∞} – скорость длительного режима, км/ч; v_k – конструкционную скорость, км/ч; N_{∞} – мощность длительного режима, кВт; N_o – общую мощность гибридного МТ, кВт, состоящую из мощностей дизеля и накопителя энергии; P_l – вес МТ, т; P_{oc} – нагрузку на ось МТ, кН; T_{cl} – срок службы МТ, год. Эти параметры представляют множество

$$P_2 = \{F_{\infty}, v_{\infty}, N_{\infty}, N_o, P_l, P_{oc}, v_k, T_{cl}\}. \tag{6}$$

Экономический эффект от уменьшения затрат в неблагоприятных условиях: использование на плохих путях и на ограниченной территории. К техническим параметрам МТ, которые характеризуют меры, направленные на уменьшение затрат на его ремонт, можно отнести: P_{oc} – нагрузку на ось МТ, кН; L_l – длину МТ, м; V_l – объем локомотива, м.куб.; R_{min} – минимальный радиус кривых, проходящих МТ, м.кв.

Все эти параметры представляют множество P_3 :

$$P_3 = \{P_{oc}, L_l, V_l, R_{min}\}. \tag{7}$$

Тогда множество показателей P , характеризующее экономический эффект от использования гибридного МТ (рисунок 4), имеет вид

$$P \supseteq P_1 \cup P_2 \cup P_3 = \{g_e, C_m, B_z, T_{cl}, R_{ed}, R_{ene}, P_i(L), Q_m, Q_{\omega}, Q_e, Q_{nec}, k_{НеМР}, F_{\infty}, v_{\infty}, N_{\infty}, N_o, P_l, P_{oc}, v_k, L_l, V_l\}. \tag{8}$$

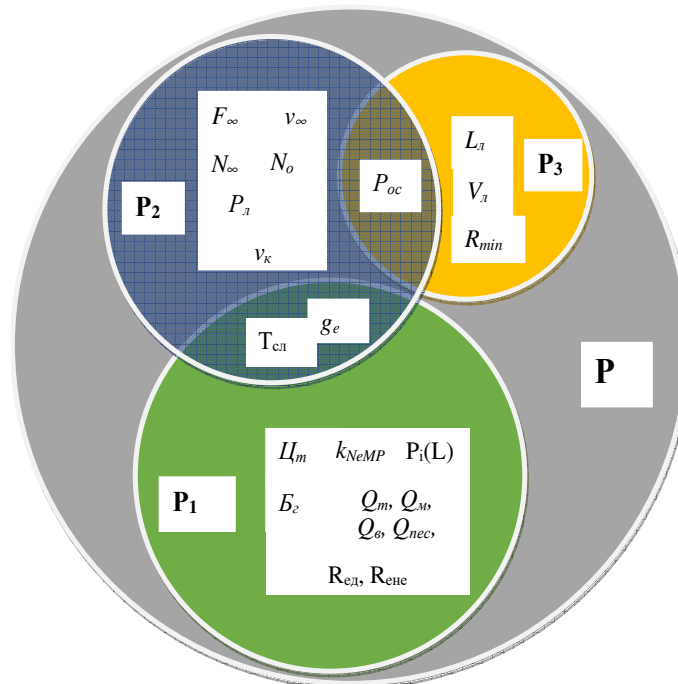


Рисунок 4. – Номенклатура показателей, характеризующих гибридный маневровый тепловоз при выполнении маневровой работы

Задача выбора параметров сводится к тому, чтобы среди всех параметров множества α_1 отобрать номенклатуру параметров β_1 , для которой выполнялось условие толерантности. При этом выбранные параметры должны находиться в таком отношении, что с изменением одного из них будет изменяться и другой. В то же время любую единицу транспортного средства можно охарактеризовать 8–12 показателями. При этом точность оценки будет не ниже 0,95.

В результате расчетов по подпрограмме (блок 1, см. рисунок 3) и их анализу был получен исходный массив

$$\beta_1 = \{P_j\} = \{g_e, T_{cl}, k_{NeMP}, F_\infty, v_\infty, N_o, P_\lambda, P_{oc}, L_\lambda, R_{min}\}, \tag{9}$$

где P_j – j -й выбранный технико-экономический показатель гибридного МТ.
Избранные характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Номенклатура технико-экономических показателей, характеризующих маневровую работу гибридного тепловоза

Составляющие полезного эффекта	Меры, изменяющие экономический эффект	Выбранные технические показатели	Размерность параметров
1. Уменьшение затрат на эксплуатацию	уменьшение расхода топлива	g_e	г/кВт ч
	увеличение надежности	T_{cl}	год
	социально-экологический эффект	g_e	г/кВт·ч
	уменьшение затрат на экипировку	–	–
	рациональный подбор локомотива для работы	k_{NeMP}	–
2. Увеличение объема эксплуатационных работ	касательной мощности, N_k	F_∞	кН
		v_∞	км/ч
		N_o	кВт
		P_λ	т
	времени работы	T_{cl}	год
3. Использование в неблагоприятных условиях	на плохих путях	P_{oc}	кН
	на ограниченной территории	L_λ R_{min}	м м

На втором этапе (блок 2, см. рисунок 3) выполняется выбор метода расчета технического уровня. Входной информацией является массив $\alpha_2 = \{M\}$, где M_i – i -я методика расчета технического уровня МТ, $i = 1, \dots, n$. В результате был получен исходный массив $\beta_2 = \{M\}$, где M_j – j -й выбранный метод расчета технического уровня МТ, $j = 1, \dots, m$. Для расчетов экспертным методом был выбран метод весовых коэффициентов как наиболее простой и достаточно удобный.

На третьем этапе выполняется ранжирование параметров МТ и рассчитывается значение весовых коэффициентов (блок 3, см. рисунок 3). Входная информация при этом – массив $\alpha_3 = \{\beta_1, \beta_2\}$. Ранжирование проведено экспертным методом, а результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Значение основных технико-экономических показателей, характеризующих тепловоз при выполнении маневровой работы

Номер и технический параметр	Выбранные параметры	Размерность технических параметров	Рациональность параметра	Вес параметра в ранжируемой последовательности φ_i
1	Сила тяги длительного режима	кН	рац.	2
2	Общая мощность	кВт	рац.	1
3	Удельный расход топлива	г/кВт·ч	иррац.	0,75
4	Масса локомотива	т	рац.	0,5
5	Нагрузка на ось колесной пары	кН	рац.	0,31
6	Коэффициент использования мощности		рац.	0,19
7	Длительная скорость движения	км/ч	иррац.	0,11
8	Минимальный радиус прохождения кривой	м	иррац.	0,06
9	Срок службы	лет	рац.	0,04
10	Длина локомотива	м	иррац.	0,02

В результате расчетов получен массив весовых коэффициентов $\beta_3 = \{\varphi_i\}$, где φ_i – значение весового коэффициента i -го параметра ранжируемой последовательности выбранных характеристик МТ, $i = 1, \dots, q_r$.

Итак,

$$\beta_3 = \{2, 1, 0,75, 0,5, 0,31, 0,19, 0,11, 0,06, 0,04, 0,02\}. \quad (10)$$

Прежде чем приступить к определению технического уровня МТ на четвертом этапе, выбирается критерий их группировки. На основе разработанной программы (блок 4, см. рисунок 3), входными данными для которой является массив $\alpha_4 = \{K_{pi}\}$, где K_{pi} – i -й критерий группировки МТ, $i = 1, \dots, n$, был получен массив β_4 критериев группировки $\beta_4 = \{K_{pj}\}$. В этом случае K_{pj} – j -й выбранный критерий группировки МТ, $j = 1 \dots m$.

Для нашего случая критерием группировки выбран вид передачи и тяги, представляющий собой массив β^{*4} :

$$\beta_4^* = \left\{ \begin{array}{l} \text{механическая передача} \\ \text{гидромеханическая передача} \\ \text{гидравлическая передача} \\ \text{электрическая передача} \\ \text{гибридная передача} \end{array} \right\} \quad (11)$$

Последующие расчеты проведены для локомотивов с гибридной передачей мощности, сформированных в виде массива β^{**4} :

$$\beta_4^{**} = \left\{ \begin{array}{l} \text{CKD (Прага) TA436.05 (718)} \\ \text{ЧМЭЗгибр.} \\ \text{Railpower GG20B GreenGoat} \\ \text{Railpower GG10K GreenKid} \end{array} \right\} \quad (12)$$

На пятом этапе этой группы был выбран МТ ЧМЭЗ, являющийся базовым для модернизации гибридной передачи мощности и наиболее используемым тепловозом на Укрзализныце для выполнения маневровых операций.

Выбранный локомотив представляет собой массив из одного элемента β_5 :

$$\beta_5 = \{\text{ЧМЭЗ}\}. \quad (13)$$

На шестом этапе для выбранной группы локомотивов по формуле (1) рассчитывается коэффициент технического уровня гибридных тепловозов. Результаты расчетов представлены в массиве β_6 и сведены в таблицу 3.

$$\beta_6 = \{0,68; 1,1; 1,02; 1,32\}. \quad (14)$$

Таблица 3. – Технический уровень маневровых тепловозов

Серия локомотива	Коэффициент технического уровня K_t
ТА 436.05 (718)	0,68
ЧМЭЗгибр.	1,1
GG10K Greengid	1,02
GG20B Greengoat	1,32

Проведенные расчеты доказывают эффективность технической эксплуатации гибридного локомотива, т.к. коэффициент технического уровня больше 1 для большинства локомотивов, кроме ТА 436.05(718) (из-за его слишком низкой мощности по сравнению с ЧМЭЗ).

Заключение. Усовершенствована методика определения технического уровня транспортного средства. Методика опробована на гибридном транспортном средстве и подтвердила свою эффективность. Ее применение позволит эффективно оценивать необходимость и целесообразность обновления парка транспортных средств для разных видов транспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурдаков В.Д. Квалиметрия транспортных средств. Методика оценки эффективности использования. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 160 с.
2. Фалендыш А.П., Володарец Н.В. Использование гибридных передач на маневровых тепловозах // Локомотив-информ. – 2010. – Декабрь. – С. 4–7.
3. Calculation of the Parameters of Hybrid Shunting Locomotive / A. Falendysh, P. Kharlamov, O. Kletska et al. // Transportation Research Procedia. – 2016. – Vol. 14. – P. 665–671. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.325

REFERENCES

1. Burdakov, V.D. (1990). *Kvalimetriya transportnykh sredstv. Metodika otsenki effektivnosti ispol'zovaniya*. Moscow: Izd-vo standartov. (In Russ.)
2. Falendysh, A.P. & Volodarets, N.V. (2010). Ispol'zovanie gibridnykh peredach na manevrovykh teplovozhakh. *Lokomotiv-inform*, (Dekabr'), 4–7. (In Russ.)
3. Falendysh, A., Kharlamov, P., Kletska, O. & Volodarets, N. (2016). Calculation of the Parameters of Hybrid Shunting Locomotive. *Transportation Research Procedia*, (14), 665–671. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.325

Поступила 28.06.2024

**IMPROVEMENT OF THE METHODOLOGY FOR DETERMINING THE TECHNICAL LEVEL
OF THE VEHICLE**

N. VOLODARETS
(*Donetsk Academy of Transport*)

The paper improves the methodology for determining the technical level of a vehicle having any type of drive. The algorithm of the methodology for assessing the technical level of the vehicle has been developed. The nomenclature of indicators characterizing a hybrid vehicle when performing a certain type of work is given. The technique has been tested on a hybrid vehicle. The effectiveness of its use in the decision-making process on the renewal of rolling stock was confirmed.

Keywords: *technical level, vehicle, expert assessments, product quality, method of weighting coefficients.*