

КОНТРОЛЬ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТАКСОНОМИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ

д.т.н., проф. В.Д. Дмитриенко, к.т.н. В.И. Носков, М.В. Липчанский

На основе таксономического показателя разрабатывается новый метод контроля и оценки эффективности функционирования энергетических цепей дизель-поезда.

Постановка проблемы. Поведение сложных технических объектов, в частности, локомотивов и дизель-поездов, обычно оценивается множеством различных количественных и качественных показателей, учитывающих различные аспекты их функционирования. Поэтому при формализации оценки эффективности функционирования таких объектов естественным образом возникают многокритериальные задачи оптимизации. Поиск приемлемых решений таких задач на стадии проектирования и оценка эффективности функционирования и контроль объектов во время их эксплуатации наталкиваются на значительные трудности, обусловленные тем, что компоненты критерия выбираются и оцениваются в условиях многовариантности, компромиссности, многофакторности, линейных или нелинейных взаимосвязей между отдельными компонентами, привлечения значительных объемов информации в условиях существенной неопределенности. Эффективно решаться такие задачи могут только с помощью новых компьютерных технологий. До последнего времени внедрение новых технологий для контроля, диагностики и прогнозирования технического состояния тягового подвижного состава железных дорог Украины было проблематично из-за отсутствия на борту соответствующих вычислительных средств. Однако создание первых украинских дизель-поездов с бортовыми информационными системами открыло перспективу внедрения новых технологий для контроля и диагностики подвижного состава.

Анализ литературы. Один из методов контроля технических объектов, оцениваемых с помощью многокомпонентных критериев, основан на расчете таксономического показателя [1 – 3]. Этот метод применяется не только в технике, но и при анализе социально-экономических, криминалистических, военных и экономико-математических объектов и систем [4 – 7].

При использовании таксономического показателя обычно выделяются компоненты критерия или признаки-стимуляторы, способствующие росту

эффективности наблюдаемых объектов, и признаки-дестимуляторы, ухудшающие их эффективность. Кроме того, при использовании таксономического показателя обычно предполагается наличие одного наиболее благоприятного режима функционирования объекта. Однако при оценке функционирования тягового подвижного состава и его контроле такие условия не выполняются, поскольку для дизель-поездов и локомотивов характерно некоторое множество, существенно отличающихся друг от друга режимов работы оборудования. Множество этих режимов определяется числом n_k позиций контроллера машиниста. При этом на различных позициях контроллера признаки-стимуляторы могут переходить в признаки-дестимуляторы и наоборот. В литературе отсутствуют рекомендации по оценке эффективности и контролю таких объектов с помощью методов таксономии.

Целью статьи является разработка метода контроля и оценки эффективности функционирования энергетических цепей дизель-поезда на основе таксономического показателя.

Раздел основного материала. Рассмотрим вначале применение таксономического метода для контроля установившихся режимов работы дизель-поезда или локомотивов. Поскольку режимы функционирования энергетических цепей дизель-поезда или локомотивов при различных позициях контроллера машиниста существенно отличаются друг от друга, то предлагается таксономический показатель рассчитывать для каждой позиции контроллера машиниста отдельно, т.е. использовать векторный или многокомпонентный таксономический показатель $D = (d^1, \dots, d^{n_k})$.

Для определения таксономического показателя на g -й ($g = \overline{1, n_k}$) позиции контроллера машиниста используется матрица наблюдений $X^g(t)$, имеющая n столбцов и m строк:

$$X^g(t) = \begin{pmatrix} \bar{x}_1^g(t_1) & \bar{x}_2^g(t_1) & \dots & \bar{x}_p^g(t_1) & \bar{x}_{p+1}^g(t_1) & \dots & \bar{x}_n^g(t_1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_1^g(t_i) & \bar{x}_2^g(t_i) & \dots & \bar{x}_p^g(t_i) & \bar{x}_{p+1}^g(t_i) & \dots & \bar{x}_n^g(t_i) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{x}_1^g(t_m) & \bar{x}_2^g(t_m) & \dots & \bar{x}_p^g(t_m) & \bar{x}_{p+1}^g(t_m) & \dots & \bar{x}_n^g(t_m) \end{pmatrix}.$$

Каждый из столбцов матрицы соответствует одной из измеряемых величин: $x_1^g, \dots, x_p^g, x_{p+1}^g, \dots, x_n^g$. Все измеряемые величины (переменные, показатели, признаки) $x_1^g(t), \dots, x_n^g(t)$ матрицы $X^g(t)$ делятся на две группы: показатели-стимуляторы ($\bar{x}_1^g, \dots, \bar{x}_p^g$) и показатели-дестимуляторы ($\bar{x}_{p+1}^g, \dots, \bar{x}_n^g$). Увеличение показателей первой группы в общем случае ведет к улучшению качества функционирования объекта, а второй группы – к его

ухудшению. При переходе с одной позиции контроллера машиниста на другую показатели-стимуляторы могут превращаться в показатели-дестимуляторы и наоборот.

Число m строк матрицы соответствует числу различных измерений контролируемых величин на g -й позиции контроллера.

Поскольку наблюдаемые параметры или переменные по величине могут отличаться на порядки, то исходная матрица наблюдений $X^g(t)$ преобразуется к стандартизованной матрице наблюдений $Z^g(t) = \left\| z_{ji}^g(t_j) \right\|$, $j = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, n}$. Для определения элементов матрицы $Z^g(t)$ предварительно рассчитывают оценки математических ожиданий и дисперсий для каждой из наблюдаемых переменных:

$$\bar{x}_i^g(t_m) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_i^g(t_j), \quad i = \overline{1, n}; \quad (1)$$

$$\sigma_i^{g2}(t_m) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (x_i^g(t_j) - \bar{x}_i^g)^2, \quad i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Затем, используя (1) и (2), рассчитывают элементы z_{ji}^g матрицы $Z^g(t)$:

$$z_{ji}^g = z_{ji}^g(t) = \frac{x_i^g(t_j) - \bar{x}_i^g}{\sigma_i^g}. \quad (3)$$

Исходная матрица наблюдений $X^g(t)$ и соответствующая ей стандартизованная матрица наблюдений $Z^g(t)$ могут соответствовать различным возможным сценариям поведения контролируемого объекта. Очевидно, что их можно рассматривать как точки в n -мерном векторном пространстве, в котором можно определить и точку, соответствующую эталонному вектору наблюдений $Z^{*g}(t)$ на g -й позиции контроллера машиниста:

$$\left\{ \begin{array}{l} Z^{*g}(t) = \left| \bar{z}_1^{*g}(t), \dots, \bar{z}_p^{*g}(t), \bar{z}_{p+1}^{*g}(t), \dots, z_n^{*g}(t) \right|; \\ \bar{z}_i^{*g}(t) = \max_j z_i^g(t_j), \quad i = \overline{1, p}, \quad j = \overline{1, m}; \\ \bar{z}_q^{*g}(t) = \min_j z_q^g(t_j), \quad q = \overline{p+1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \end{array} \right. \quad (4)$$

где $z_i^g(t_j) = \left| z_i^g(t_1), \dots, z_i^g(t_m) \right|^T$, $i = \overline{1, n}$ – столбцы матрицы $Z^g(t) = \left\| z_{ji}^g(t_j) \right\|$; $\bar{z}_i^{*g}(t)$, $i = \overline{1, p}$ – максимальные элементы столбцов матрицы

$Z^g(t)$, содержащие данные по переменным-стимуляторам; $\tilde{z}_q^{*g}(t)$, $q = \overline{p+1, n}$ – минимальные элементы столбцов матрицы $Z^g(t)$, содержащие данные по переменным-дестимуляторам; p , $n-p$ – соответственно число переменных-стимуляторов и переменных-дестимуляторов, характеризующих объект.

Близость векторов $Z^{Hg}(t_j)$, $j = \overline{1, m}$ и Z^{*g} соответственно наблюдаемого и эталонного объектов на g -й позиции контроллера машиниста можно характеризовать с помощью расстояний:

$$r^g(t_j) = \left(\sum_{i=1}^n (z_i^{Hg}(t_j) - z_i^{*g})^2 \right)^{1/2}, \quad j = \overline{1, m}; \quad (5)$$

$$\bar{r}^g(t_m) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m r^g(t_j), \quad (6)$$

где $r^g(t_j)$ – расстояние между наблюдаемым и эталонным объектом в момент времени t_j ($j = \overline{1, m}$); $\bar{r}(t)$ – среднее расстояние между наблюдаемым и эталонным объектами в интервале времени $[t_1, t_m]$.

Расстояния (5), (6) используются для определения таксономического показателя объекта на g -й позиции контроллера машиниста

$$d^g(t_j) = 1 - \frac{r^g(t_j)}{\tilde{r}^g(t)}, \quad (7)$$

где
$$\tilde{r}^g(t) = \bar{r}^g(t) + 2S^g(t); \quad \tilde{r}^g(t) \neq 0; \quad (8)$$

$$S^g(t_m) = \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (r^g(t_j) - \bar{r}^g(t))^2 \right)^{1/2}. \quad (9)$$

Чем меньше расстояния (5), (6), тем ближе наблюдаемый объект к эталонному и тем ближе к нулю отношение $r^g(t_j)/\tilde{r}^g(t)$ в выражении (7), и тем ближе к единице таксономический показатель объекта $d^g(t_j)$. Уменьшение хотя бы одного компонента векторного таксономического показателя $D = (d^1(t_{j1}), \dots, d^g(t_{jg}), \dots, d^{n_k}(t_{jn_k}))$, где t_{jg} ($g = \overline{1, n_k}$) – моменты времени определения компонент векторного показателя, может свидетельствовать об отклонении динамики наблюдаемого объекта от оптимальной и необходимости его детальной диагностики.

В табл. 1 приведены значения компонент векторного таксономического

го показателя при различных режимах работы электрооборудования дизель-поезда на шестой, седьмой и восьмой позициях контроллера машиниста. При расчете таксономического показателя использовались следующие переменные: полные и активные токи тяговых двигателей, их скольжения, напряжение и мощность генератора, напряжение звена постоянного тока, скорости обеих колесных пар, обороты дизеля, скорость состава и т.д.

В табл. 1 приняты следующие обозначения режимов, для которого вычислялись компоненты векторного таксономического показателя:

- режим 1 – теоретически оптимальный режим функционирования электрооборудования дизель-поезда на соответствующей позиции контроллера машиниста при идеальных внешних условиях (погодные условия, профиль пути, масса состава и т.д.);
- режим 2 – реальный, близкий к оптимальному режим функционирования электрооборудования дизель-поезда на соответствующей позиции контроллера машиниста;
- режим 3 – режим разгона дизель-поезда при недостаточно долгом функционировании на соответствующей позиции контроллера;
- режим 4 – режим кратковременной работы на заданной позиции контроллера при разгоне дизель-поезда;
- режим 5 – режим работы на заданной позиции контроллера при неисправном оборудовании.

Таблица 1

Значения компонент векторного таксономического показателя

	Позиция 6	Позиция 7	Позиция 8
Режим 1	$d^6 = 1$	$d^7 = 1$	$d^8 = 1$
Режим 2	$d^6 = 0,85 - 0,90$	$d^7 = 0,88 - 0,92$	$d^8 = 0,87 - 0,92$
Режим 3	$d^6 = 0,70 - 0,78$	$d^7 = 0,68 - 0,76$	$d^8 = 0,70 - 0,76$
Режим 4	$d^6 = 0,44 - 0,54$	$d^7 = 0,44 - 0,53$	$d^8 = 0,33 - 0,50$
Режим 5	$d^6 = -0,23 - 0,05$	$d^7 = -0,26 - 0,21$	$d^8 = -0,27 - 0,15$

Анализ экспериментальных данных и данных таблицы показывает, что компоненты векторного таксономического показателя при разгоне дизель-поезда и переходе с нижних позиций на более высокие увеличиваются от некоторых минимальных значений до значений, близких к единице. Если при разгоне дизель-поезда происходят сбои в работе электрооборудования, то на соответствующих зависимостях $d^g(t)$, $g = \overline{1, n_k}$ наблюдается уменьшение значений соответствующих компонент векторного показателя. На рис. 1 представлено изменение таксономическ-

го показателя при разгоне дизель-поезда с 68 до 85 км/ч на седьмой позиции контроллера машиниста. На 31-й секунде заметно уменьшение показателя (примерно на 10%), которое вызвано кратковременным отклонением работы оборудования от номинального режима. В связи с этим компоненты векторного таксономического показателя удобно использовать при отладке и доводке как новых дизель-поездов, так и тягового подвижного состава после капитального ремонта. Это связано с тем, что одновременное наблюдение за десятками процессов с целью обнаружения кратковременных сбоев или отклонений в работе тех или иных компонент электропередачи объекта весьма проблематично.

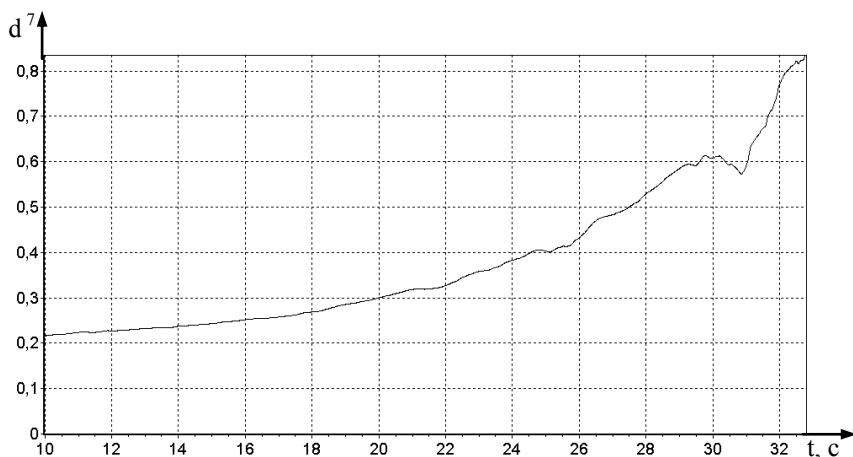


Рис. 1. График изменения таксономического показателя

Для определения нарушений в работе оборудования на каждой позиции контроллера машиниста предлагается использовать таксономический показатель, определяемый в реальном времени с помощью скользящего окна и рекуррентных соотношений [1, 2]. С помощью таких показателей определяется интервал времени с нарушениями в работе оборудования, а затем уже производится детальный анализ этих нарушений.

Выводы. Таким образом, для дизель-поездов и локомотивов, т.е. для объектов с множеством существенно отличающихся установившихся режимов работы оборудования предложен новый метод контроля и оценки эффективности функционирования оборудования в установившихся и динамических режимах на основе многокомпонентного таксономического показателя. В дальнейшем предполагается разработка программного обеспечения для реализации предложенного метода с помощью технологии искусственных нейронных сетей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бодяньський Є.В., Михальов О.І., Плісс І.П. Адаптивне виявлення розладнень в об'єктах керування за допомогою штучних нейронних мереж. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2000. – 140 с.
2. Дмитриенко В.Д., Заполовський Н.И., Носков В.И., Липчанский М.В. Адаптивный контроль отклонений в системах управления локомотивов с помощью нейронных сетей // Вісник НТУ "ХПИ". Тем. вип.: Автоматика та приладобудування. – Х.: НТУ "ХПИ". – 2002. – № 18. – С. 45 – 51.
3. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля / В.И. Носков, В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, С.Ю. Леонов. – Х.: ХФИ "Транспорт Украины", 2003. – 248 с.
4. Плюта В. Сравнительный многомерный анализ в экономических исследованиях. – М.: Статистика, 1980. – 151 с.
5. Матусовський Г., Бодяньський Є., Іващенко П. Використання наукового потенціалу в розробці криміналістичних методик виявлення економічних злочинів // Вісник Академії правових наук України. – Х.: Право. – 1997. – № 4 (11). – С. 138 – 142.
6. Воробьев В.И., Городнов Г.П., Фык О В. Таксономический показатель уровня эффективности применения частей и подразделений внутренних войск МВД Украины // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2003. – Вип. 5. – С. 96 – 104.
7. Бодянский Е.В., Любчик Л.М., Матусовский Г.А., Плис И.П. Об одном алгоритме таксономической классификации на основе искусственных нейронных сетей // Радиоэлектроника и информатика. – 1998. – № 3. – С. 65 – 68.

Поступила 21.07.2004

ДМИТРИЕНКО Валерий Дмитриевич, доктор технических наук, профессор Национального технического университета "Харьковский политехнический институт". В 1971 году окончил Харьковский политехнический институт. Область научных интересов – моделирование сложных объектов и искусственный интеллект.

НОСКОВ Валентин Иванович, кандидат технических наук, главный конструктор ГП "ЭЛЕКТРОТЯЖМАШ". В 1965 году окончил Харьковский авиационный институт. Область научных интересов – тяговый электропривод подвижного состава железных дорог, математическое моделирование.

ЛИПЧАНСКИЙ Максим Валентинович, аспирант Национального технического университета "Харьковский политехнический институт". В 1998 году окончил Харьковский государственный политехнический университет. Область научных интересов – системы управления тяговыми электроприводами, математическое моделирование.