УДК 621.3.07

В.Д. Дмитриенко, Г.В. Гейко, Н.В. Мезенцев, С.Ю. Леонов

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

АНАЛИЗ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Одной из задач, которая решается современными системами управления сложными техническими объектами, является задача контроля режимов функционирования объекта управления. Данная задача может быть решена с использовании интегрального таксономического показателя. На основе величины этого показателя делается вывод о качестве функционирования объекта управления. В то же время, использование данного показателя не даёт возможности обнаружения больших отклонений отдельных параметров объекта, поэтому в работе предлагается усовершенствование существующего подхода.

Ключевые слова: *системы управления, таксономический показатель, объект управления.*

Введение

Постановка проблемы. Машинисту, управляющему современным подвижным составом железных дорог, приходится учитывать большое число различных переменных и обеспечивать выполнение значительного числа показателей, частая оперативная оценка которых во время движения состава практически невозможна. Одной из систем, позволяющей облегчить управление тяговым подвижным составом, является система контроля, основанная на использовании интегрального таксономического показателя, на основе величины которого делается вывод о качестве функционирования объекта управления. [1] Однако, эта система контроля имеет существенный недостаток – невозможность быстрого обнаружения больших отклонений отдельных параметров или переменных, что требует совершенствования этой системы. Таксономический показатель (ТП) используется не только для контроля тягового подвижного состава железных дорог, но и для проведения классификации в различных системах: технических, экономических, социальных и т.д. [2 – 4] Для вычисления ТП некоторого объекта в определённом режиме V функционирования используют матрицу наблюдений Y(t) вида

$$Y(t) = \begin{vmatrix} y_1(t_1) & \dots & y_q(t_1) & y_{q+1}(t_1) & \dots & y_n(t_1) \\ y_1(t_2) & \dots & y_q(t_2) & y_{q+1}(t_2) & \dots & y_n(t_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_1(t_k) & \dots & y_q(t_k) & y_{q+1}(t_k & \dots & y_n(t_k) \end{vmatrix},$$

где $y_1(t_i), \ldots, y_q(t_i), y_{q+1}(t_i), \ldots, y_n(t_i)$ – значения измеренных величин (переменных) в моменты времени t_i, $i = \overline{1,k}$, которые часто делят на две группы: переменные-стимуляторы $(y_1, \ldots, y_q)$ и переменные–дестимуляторы ($y_{q+1}, \ldots, y_n$).

В связи с тем, что наблюдаемые переменные могут по величине отличаться на порядки, то исходную матрицу Y(t) приводят к стандартизированной матрице $X(t) = \left\| x_{ji}(t_j) \right\|$, $j = \overline{1,k}$, $i = \overline{1,n}$, рассчитывая её элементы по формуле:

$$x_{ji}(t) = x_{ji} = \left(y_i(t_j) - \overline{y_i} \right) \Big/ \sigma_i ,$$

где $\overline{y_i}$ и σ_i – соответственно оценки для каждой измеряемой переменной y_i $(i = \overline{1,n})$ матожидания и дисперсии, рассчитанных по k измерениям:

$$\overline{y_i} = \overline{y_i}(t_k) = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^{k} y_i(t_j), \quad i = \overline{1,n},$$

$$\sigma_i^2 = \sigma_i^2(t_k) = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^{k} (y_i(t_j) - \overline{y_i})^2, \quad i = \overline{1,n}.$$

Очевидно, что полученная стандартизированная матрица наблюдений описывает тот же режим функционирования V наблюдаемого объекта, что и матрица Y(t). Поскольку режим функционирования V объекта может быть осуществлён бесконечно большим количеством реализаций, то в технических системах выделяют оптимальную или эталонную реализацию для каждого режима функционирования V объекта, которую можно задать с помощью эталонной матрицы измерений (наблюдений) $X^э(t)$:

$$X^э = \left\| x_{ji}^э \right\|, \; j = \overline{1,k}, \; i = \overline{1,n},$$

$$\overline{x}_i^э(t_j) = \max x_i(t_j), \; i = \overline{1,q}, \; j = \overline{1,k},$$

$$\overline{x}_p^э(t_j) = \min x_p(t_j), \; p = \overline{q+1,n}, \quad j = \overline{1,k},$$

где $\overline{x}_i^э(t_j)$, $i = \overline{1,q}$, $\overline{x}_p^э(t_j)$, $p = \overline{q+1,n}$ – соответственно максимальные элементы столбцов переменных-стимуляторов и минимальные элементы столбцов переменных-дестимуляторов. Близость матриц эталонного и наблюдаемого режимов функционирования анализируемого объекта можно определить с помощью следующих расстояний:

$$R(t_j) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i(t_j) - x_i^э(t_j))^2}, \; j = \overline{1,k} \qquad (1)$$

$$R(t_1, t_k) = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^{k} R(t_j), \qquad (2)$$

где $R(t_j)$ – расстояние в момент времени t_j $(j = \overline{1,k})$ между режимами функционирования оптимального (эталонного) и наблюдаемого объектов; $R(t_1, t_k)$ – среднее расстояние в интервале времени $[t_1, t_k]$ между вышеуказанными объектами.

Расстояния (1) и (2) можно использовать для получения интегральной оценки, получившей название таксономического показателя, с помощью которой оценивается близость режимов функционирования наблюдаемого и эталонного объекта:

$$D(t_j) = 1 - R(t_j) / \tilde{R}(t_1, t_k), \; j = \overline{1,k}, \qquad (3)$$

где $\tilde{R}(t_1, t_k) = R(t_1, t_k) + 2S(t_1, t_k)$, $\tilde{R}(t_1, t_k) \neq 0$, (4)

$$S(t_1, t_k) = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^{k} (R(t_j) - R(t_1, t_k))^2}. \qquad (5)$$

Соотношение (3), определяющее таксономический показатель, получено в предположении, что режим функционирования наблюдаемого и эталонного объекта полностью совпадать не могут, т.к. в противном случае расстояния (1) и (2) становятся равными нулю и в правой части соотношения (3) возникает неопределённость, связанная с делением на нуль. Однако, чем ближе наблюдаемый и эталонный режимы функционирования объекта, тем меньше отношения $R(t_j) / \tilde{R}(t_1, t_k)$, $j = \overline{1,k}$ и тем ближе таксономический показатель к единице. Уменьшение таксономического показателя означает, что функционирование наблюдаемого объекта по каким-то причинам ухудшилось и требуется настройка объекта управления.

С точки зрения контроля оптимальных или близких к оптимальным режимов функционирования сложных объектов таксономический показатель хорошо выполняет свои функции. Однако, если значения таксономического показателя заметно отличаются от единицы, то это может означать что либо все переменные, либо часть из них отклонились от оптимальных значений. Определить, что произошло, с помощью таксономического показателя не удаётся. В связи с этим, возникает необходимость введения нового интегрального показателя для контроля динамических режимов функционирования тягового подвижного состава, который бы в какой-то степени позволял определять причины отклонения режимов функционирования объекта от эталонных режимов.

Цель статьи – разработка нового интегрального показателя для контроля динамических режимов технических объектов, обеспечивающего определение причин уменьшения интегрального показателя.

Основная часть

При контроле режимов функционирования оборудования тягового подвижного состава наблюдаются переменные и параметры, относящиеся к различным системам, агрегатам, узлам и блокам объекта. Поэтому, одновременное отклонение всех переменных от оптимальных (или близким к оптимальным) значений маловероятен. Однако, вначале возникает проблема с одним, двумя компонентами объекта управления. В связи с этим, использование расстояния (1) для контроля подвижного состава не рационально, поскольку определяется расстояние между всеми переменными для конкретного момента времени. Для рассматриваемого случая лучше использовать расстояние, которое позволяет выделять и расстояние между наблюдаемыми $x_i(t)$ и эталонными $x_i^э(t)$, $i = \overline{1,n}$ переменными за наблюдаемый интервал времени $[t_1, t_k]$, например

$$R^*(t_j) = \sum_{i=1}^{n} \left| x_i(t_j) - x_i^э(t_j) \right|, \; j = \overline{1,k}, \qquad (6)$$

где $R^*(t_j)$ – расстояние между наблюдаемым и эталонным режимами функционирования объекта в момент времени t_j, $x_i(t)$, $x_i^э(t)$ – наблюдаемые и эталонные переменные объекта в момент времени t_j.

Среднее расстояние в интервале времени $[t_1, t_k]$ между всеми наблюдаемыми и эталонными переменными в этом случае можно определить так:

$$R^*(t_1, t_k) = \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{n} R_j^* = \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n}\left| x_i(t_j) - x_i^э(t_j) \right| =$$

$$= \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k}\left| x_i(t_j) - x_i^э(t_j) \right|. \qquad (7)$$

Используя расстояния (6) и (7) аналогично расстояниям (1) и (2) получим новый интегральный показатель, с помощью которого можно оценивать близость режимов функционирования наблюдаемого и эталонного объектов:

$$D^*(t_j) = 1 - R^*(t_j) / \tilde{R}^*(t_1, t_k), \; j = \overline{1,k}, \qquad (8)$$

$$\tilde{R}^*(t_1, t_k) = R^*(t_1, t_k) + 2S^*(t_1, t_k), \; \tilde{R}^*(t_1, t_k) \neq 0, \qquad (9)$$

$$S^*(t_1, t_k) = \sqrt{\frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k}(R^*(t_j) - R^*(t_1, t_k))^2}. \qquad (10)$$

При оптимальном функционировании объекта интегральный показатель (8), как и таксономический показатель (3), близок к единице. При уменьшении показателя D^* с помощью выражения

$$\sum_{j=1}^{k}\left| x_i(t_j) - x_i^э(t_j) \right|, \; i = \overline{1,n}$$

из соотношения (7) можно определить, какие из переменных x_i $(i = \overline{1,n})$ стали существенно отличаться от эталонных в контролируемых режимах. Это открывает возможность к быстрому устранению возникших разладок и отклонений от оптимальных режимов в тяговом подвижном составе.

Выводы

Разработан новый интегральный показатель для контроля динамических режимов тягового подвижного состава, который позволяет не только контролировать оптимальные режимы функционирования подвижного состава, но и обеспечивает при уменьшении показателя $D^*(t_j)$ оперативное определение переменных, которые снижают его величину.

Список литературы

1. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов / В.И. Носков, В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, С.Ю. Леонов. – Х.: ХФИ «Транспорт Украины», 2003. – 248 с.

2. Бодянський Є.В. Адаптивне виявлення розглядань в об'єктах керування за допомогою штучних нейронних мереж / Є.В. Бодянський, О.І. Михальов, І.П. Плісе. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2000. – 140 с.

3. Плюта В. Сравнительный многомерный анализ в экономических исследованиях. – М.: Статистика, 1980. – 151 с.

4. Радулов Д.Д. Применение таксономического метода для оценки влияния внешних факторов конкурентоспособности предприятия / Д.Д. Радуцлов // Бізнес-інформ. – 2014. – №2. – С. 293 – 299

Поступила в редколлегию 13.10.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.А. Серков, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

АНАЛІЗ ІНТЕГРАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

В.Д. Дмитрієнко, Г.В. Гейко, М.В. Мезенцев, С.Ю. Леонов

Однією із задач, що вирішується сучасними системами керування складними технічними об'єктами, є задача контролю режимів функціонування об'єкта керування. Ця задача може бути вирішена з використанням інтегрального таксономічного показника. На основі величини цього показника робиться висновок про якість функціонування об'єкта керування. У той же час, використання даного показника не дає можливості виявлення великих відхилень окремих параметрів об'єкта, тому в роботі пропонується вдосконалення існуючого підходу.

Ключові слова: *системи керування,таксономічний показник, об'єкт керування.*

INTEGRAL INDICATOR ANALYSIS FOR MONITORING OF TRACTION ROLLING STOCK

V.D. Dmitrienko, G.V. Gejko, N.V. Mezentsev, S.Ju. Leonov

One of the issues which can be solved with modern systems that manage complex technical objects is the task of monitoring the modes of the control object operating. The issues can be solved by using the integral taxonomic index. The conclusion about the control object performance is made on the basis of the index value. At the same time, the index using does not allow to detect the large deviations of separate object parameters, so the development of existing approach is proposed in the work.

Keywords: *control systems, taxonomic indicator, control object.*