

УДК 629.4.053.3; 629.424.1.192

БАБАНИН А.Б., д.т.н., професор,
ТУРЧИНОВ Р.В., аспірант (УкрГАЗТ)

Задачи и оптимизация требований к информационным системам для диагностирования локомотивов

Рассмотрены основные теоретические задачи по созданию информационных диагностических систем для определения технического состояния локомотива, которые учитывают получение конкретных результатов в зависимости от организации его эксплуатации, процесса диагностирования, контролепригодности и ремонтпригодности. Предложена методика математической оптимизации этих задач на основе учета различных комбинаций показателей готовности, контролепригодности и ремонтпригодности локомотивов.

Ключевые слова: оптимизация, информационные системы для диагностирования локомотивов, требования к информационным системам

Постановка проблемы и анализ последних исследований по ее решению

Согласно основным положений комплексной программы обновления железнодорожного подвижного состава Украины на 2008-2020 годы одним из приоритетных направлений является повышение надежности локомотивов, где, вместе с другими организационными мероприятиями, важное значение имеют задачи широкого внедрения информационных диагностических систем (ИДС) для определения их технического состояния [4]. Сегодня решение этих задач невозможно без создания теоретической базы по оптимизации требований на создание ИДС, учитывающие условия их эксплуатации, организации самого процесса диагностирования, показателей надежности, а также роли в них человека-оператора, который осуществляет получение, обработку и передачу соответствующей информации.

Анализ последних достижений и публикаций

Диагностические измерительные системы для определения параметров и диагностирования систем локомотивов начали широко разрабатываться с 80-х годов прошлого века, после повсеместного распространения персональных компьютеров. Широко известны разработки таких систем проектными и исследовательскими организациями (ПКТБ ЦТ МПС [3], ВНИИЖТ [5], ВНИТИ [7]), а также высшими учебными заведениями (ХИИТ [2,11], ОмИИТ [9], ВЗИИТ [8] и рядом других). На первом этапе такие системы предназначались в основном для хранения информации, которая была получена при проведении испытаний и ее первичной обработки.

Следует отметить, что производительность компьютеров тех лет не позволяла использовать быстродействующие аналого-цифровые преобразователи (АЦП), которые необходимы для проведения измерений в реальном масштабе времени. Использование относительно медленных АЦП позволяло организовать весь процесс только в полуавтоматическом режиме (некоторые параметры вводились в компьютер вручную, а некоторые - с помощью АЦП).

Кроме того каждая из этих систем строилась на принципах разработчика, только со своей иерархией и своими аппаратными средствами. До настоящего времени так и не создан единый теоретический подход к проектированию ИДС, который бы в полной мере учитывал факторы, связанные с особенностями конструкции современных локомотивов, условиями их эксплуатации и обслуживанием, погрешностями измерения, а также профессиональным уровнем обслуживающего персонала.

Целью статьи является оптимизационная постановка задач определения требований к ИДС для диагностирования локомотивов.

Основной материал

Организация создания ИДС может рассматриваться как решение определенной совокупности задач, каждая из которых связана с конкретными условиями и этапами ее разработки. Для построения информационных систем диагностирования наиболее характерны два случая. В первом случае это разработка объекта диагностирования (ОД), которая, в общем случае, предполагает создание нового типа локомотива и опережает разработку ИДС, используемых для его диагностирования. В этом случае при

© А.Б. Бабанин, Р.В. Турчинов, 2013

определении требований к ИДС все показатели объекта уже считаются заданными. Во втором случае разработка ОД производится одновременно (параллельно во времени) с построением ИДС. В данной постановке уже необходимо определить требуемые значения показателей, которые характеризуют свойства как ИДС, так и ОД.

На начальном этапе разработки ИДС, когда полностью отсутствует информация об организации эксплуатации объекта и организации процесса его диагностирования, а также неизвестны требуемые значения показателей, характеризующих свойства как ИДС, так и ОД, могут иметь место следующие четыре задачи организации системы диагностирования.

1. Известно заданное значение $K_{Г.з}$ показателя готовности ОД. Требуется определить суммарные значения показателей организации эксплуатации объекта (ΣE), организации процесса диагностирования ($\Sigma Д$), безотказности ОД ($\Sigma_{ОД}$) и ИДС ($\Sigma_{Б_{ИДС}}$), контролепригодности ОД ($\Sigma_{ОД}$) и ИДС ($\Sigma_{К_{ИДС}}$), ремонтпригодности ОД ($\Sigma_{Р_{ОД}}$) и ИДС ($\Sigma_{Р_{ИДС}}$) и вероятностей α и β возникновения в ИДС ошибок первого и второго рода, обеспечивающие максимальное $K_{Г.мах}$ и заданное $K_{Г.з}$ значения показателя готовности ОД при известной и неизвестной совокупности задач Z диагностирования, решаемых ИДС.

2. Известно заданное значение $K_{Г.з}$. Требуется определить значения показателей ΣE , $\Sigma Д$, $\Sigma_{Б_{ОД}}$, $\Sigma_{Б_{ИДС}}$, $\Sigma_{К_{ОД}}$, $\Sigma_{К_{ИДС}}$, $\Sigma_{Р_{ОД}}$, $\Sigma_{Р_{ИДС}}$, соответственно ОД и ИДС, которые обеспечивают $K_{Г.мах}$ и $K_{Г.з}$ при известной и неизвестной совокупности Z задач диагностирования.

3. Известно заданное значение $K_{Г.з}$. Требуется определить значения показателей ΣE , $\Sigma Д$, $\Sigma_{Б_{ОД}}$, $\Sigma_{К_{ОД}}$, и $\Sigma_{Р_{ОД}}$, ОД, которые обеспечивают $K_{Г.мах}$ и $K_{Г.з}$ при известной и неизвестной совокупности Z .

4. Известно заданное значение $K_{Г.з}$. Требуется определить значения показателей ΣE и $\Sigma Д$ ОД, обеспечивающие $K_{Г.мах}$ и $K_{Г.з}$ при известной и неизвестной совокупности Z .

Если организация ΣE эксплуатации ОД строго регламентирована особенностями эксплуатации и эксплуатации объекта, а требуемые значения показателей, характеризующих организацию $\Sigma Д$ процесса диагностирования и свойства ОД и ИДС, неизвестны, возможны следующие четыре задачи.

5. Заданы значения показателей $K_{Г.з}$. и ΣE ОД. Требуется определить значения показателей $\Sigma Д$, $\Sigma_{Б_{ОД}}$, $\Sigma_{Б_{ИДС}}$, $\Sigma_{К_{ОД}}$, $\Sigma_{К_{ИДС}}$, $\Sigma_{Р_{ОД}}$, $\Sigma_{Р_{ИДС}}$ ОД и

ИДС и вероятностей α и β возникновения в ИДС ошибок первого и второго рода, обеспечивающие $K_{Г.мах}$ и $K_{Г.з}$ при известной и неизвестной совокупности Z .

6. Заданы значения показателей $K_{Г.з}$ и ΣE ОД. Требуется определить значения показателей $\Sigma Д$, $\Sigma_{Б_{ОД}}$, $\Sigma_{Б_{ИДС}}$, $\Sigma_{К_{ОД}}$, $\Sigma_{К_{ИДС}}$, $\Sigma_{Р_{ОД}}$, $\Sigma_{Р_{ИДС}}$ ОД и ИДС, обеспечивающие $K_{Г.мах}$ и $K_{Г.з}$ при известной и неизвестной совокупности Z .

7. Заданы значения показателей готовности $K_{Г.з}$ и ΣE ОД. Требуется определить значения показателей $\Sigma Д$, $\Sigma_{Б_{ОД}}$, $\Sigma_{К_{ОД}}$ и $\Sigma_{Р_{ОД}}$ ОД, обеспечивающие $K_{Г.мах}$ и $K_{Г.з}$ при известной и неизвестной совокупности Z .

8. Заданы значения показателей $K_{Г.з}$ и ΣE ОД. Требуется определить значение показателя $\Sigma Д$, который обеспечивает $K_{Г.мах}$ и $K_{Г.з}$ при известной и неизвестной совокупности Z .

Когда особенностями использования и эксплуатации объекта жестко регламентируется не только организация ΣE эксплуатации ОД, но и организация $\Sigma Д$ процесса его диагностирования, а требуемые значения показателей, характеризующих свойства ОД и ИДС, неизвестны, могут быть сформулированы три задачи организации системы диагностирования.

9. Заданы значения показателей $K_{Г.з}$, ΣE и $\Sigma Д$ ОД. Требуется определить значения показателей $\Sigma_{Б_{ОД}}$, $\Sigma_{Б_{ИДС}}$, $\Sigma_{К_{ОД}}$, $\Sigma_{К_{ИДС}}$, $\Sigma_{Р_{ОД}}$, $\Sigma_{Р_{ИДС}}$ ОД и ИДС и вероятностей α и β возникновения в ИДС ошибок первого и второго рода, обеспечивающие $K_{Г.з}$ при известной и неизвестной совокупности Z .

10. Заданы значения показателей $K_{Г.з}$, ΣE и $\Sigma Д$ ОД. Требуется определить значения показателей $\Sigma_{Б_{ОД}}$, $\Sigma_{Б_{ИДС}}$, $\Sigma_{К_{ОД}}$, $\Sigma_{К_{ИДС}}$, $\Sigma_{Р_{ОД}}$, $\Sigma_{Р_{ИДС}}$ ОД и ИДС, обеспечивающие $K_{Г.з}$ при известной и неизвестной совокупности Z .

11. Заданы значения показателей $K_{Г.з}$, ΣE и $\Sigma Д$ ОД. Требуется определить значения показателей $\Sigma_{Б_{ОД}}$, $\Sigma_{К_{ОД}}$ и $\Sigma_{Р_{ОД}}$ ОД, обеспечивающие $K_{Г.з}$ при известной и неизвестной совокупности Z .

В случае, когда при строго регламентированной организации ΣE эксплуатации объекта его разработка опережает построение применяемых при диагностировании технических средств, причем неизвестно, как организовать сам процесс диагностирования, могут иметь место следующие три задачи организации ИДС.

12. Заданы значения показателей $K_{Г.з.}$, ΣE , $\Sigma B_{ОД}$, $\Sigma K_{ОД}$, $\Sigma P_{ОД}$ ОД. Требуется определить значения показателей ΣD ОД, $\Sigma B_{ИДС}$, $\Sigma K_{ИДС}$, $\Sigma P_{ИДС}$ ИДС и вероятностей α и β возникновения в ИДС ошибок первого и второго рода, обеспечивающие $K_{Г.мах}$ и $K_{Г.з.}$ при известной и неизвестной совокупности Z .

13. Заданы значения показателей $K_{Г.з.}$, ΣE , $\Sigma B_{ОД}$, $\Sigma K_{ОД}$, $\Sigma P_{ОД}$ ОД. Требуется определить значения показателей ΣD ОД и $\Sigma B_{ИДС}$, $\Sigma K_{ИДС}$, $\Sigma P_{ИДС}$ ИДС, которые обеспечивают $K_{Г.мах}$ и $K_{Г.з.}$ при известной и неизвестной совокупности Z .

14. Заданы значения показателей $K_{Г.з.}$, ΣE , $\Sigma B_{ОД}$, $\Sigma K_{ОД}$, $\Sigma P_{ОД}$ ОД. Требуется определить значение показателя ΣD , обеспечивающее $K_{Г.мах}$ и $K_{Г.з.}$ при известной и неизвестной совокупности Z .

Если этап построения ОД опережает этап разработки ИДС и известно не только как организовать использование объекта, но и также известно, как должен быть организован процесс его диагностирования, то задачи организации ИДС формулируются следующим образом.

15. Заданы значения показателей $K_{Г.з.}$, ΣE , ΣD , $\Sigma B_{ОД}$, $\Sigma K_{ОД}$, $\Sigma P_{ОД}$ ОД. Требуется определить значения показателей $\Sigma B_{ИДС}$, $\Sigma K_{ИДС}$, $\Sigma P_{ИДС}$ ИДС и вероятностей α и β возникновения в ИДС ошибок первого и второго рода, обеспечивающие $K_{Г.з.}$ при известной и неизвестной совокупности Z .

16. Заданы значения показателей $K_{Г.з.}$, ΣE , ΣD , $\Sigma B_{ОД}$, $\Sigma K_{ОД}$, $\Sigma P_{ОД}$ ОД. Требуется определить значения показателей $\Sigma B_{ИДС}$, $\Sigma K_{ИДС}$ и $\Sigma P_{ИДС}$ ИДС, обеспечивающие $K_{Г.з.}$ при известной и неизвестной совокупности Z .

Жесткая регламентация организации ΣE эксплуатации объекта, когда известны требования, предъявляемые к ОД и ИДС с позиций безотказности, контролепригодности и ремонтпригодности, но неизвестно, как должен быть организован процесс диагностирования объекта, а также представляют интерес значения вероятностей возникновения в ИДС ошибок первого и второго рода, соответствует следующая задача.

17. Заданы значения показателей $K_{Г.з.}$, ΣE , $\Sigma B_{ОД}$, $\Sigma B_{ИДС}$, $\Sigma K_{ОД}$, $\Sigma K_{ИДС}$, $\Sigma P_{ОД}$, $\Sigma P_{ИДС}$ ОД и ИДС. Требуется определить значения показателя ΣD и вероятностей α и β возникновения в ИДС ошибок первого и второго рода, обеспечивающие $K_{Г.мах}$ и $K_{Г.з.}$ при известной и неизвестной совокупности Z .

Если в рассмотренном выше случае значения вероятностей возникновения в ИДС ошибок

первого и второго рода в силу каких-либо причин определять не требуется, из задачи 17 вытекает следующая задача.

18. Заданы значения показателей $K_{Г.з.}$, ΣE , $\Sigma B_{ОД}$, $\Sigma B_{ИДС}$, $\Sigma K_{ОД}$, $\Sigma K_{ИДС}$, $\Sigma P_{ОД}$, $\Sigma P_{ИДС}$ ОД и ИДС. Требуется определить значение показателя ΣD , обеспечивающее $K_{Г.мах}$ и $K_{Г.з.}$ при известной и неизвестной совокупности Z .

Если заданы значения вероятностей возникновения в ИДС ошибок первого и второго рода, то из задачи 17 вытекает задача, которая формулируется следующим образом.

19. Заданы значения показателей $K_{Г.з.}$, ΣE , $\Sigma B_{ОД}$, $\Sigma B_{ИДС}$, $\Sigma K_{ОД}$, $\Sigma K_{ИДС}$, $\Sigma P_{ОД}$, $\Sigma P_{ИДС}$ ОД и ИДС, вероятностей α и β возникновения в ИДС ошибок первого и второго рода. Требуется определить значение показателя ΣD , обеспечивающее $K_{Г.мах}$ и $K_{Г.з.}$ при известной и неизвестной совокупности Z .

Случаю, когда заданы значения показателей, характеризующих организацию ΣE эксплуатации объекта, организацию ΣD процесса диагностирования, безотказность $\Sigma B_{ОД}$, $\Sigma B_{ИДС}$, контролепригодность $\Sigma K_{ОД}$, $\Sigma K_{ИДС}$, ремонтпригодность $\Sigma P_{ОД}$, $\Sigma P_{ИДС}$ ОД и ИДС, но неизвестны требуемые значения вероятностей возникновения в ИДС ошибок первого и второго рода, соответствует следующая задача.

20. Заданы значения показателей $K_{Г.з.}$, ΣE , ΣD , $\Sigma B_{ОД}$, $\Sigma B_{ИДС}$, $\Sigma K_{ОД}$, $\Sigma K_{ИДС}$, $\Sigma P_{ОД}$, $\Sigma P_{ИДС}$ ОД и ИДС. Требуется определить значения вероятностей α и β , обеспечивающие $K_{Г.з.}$ при известной и неизвестной совокупности Z .

Наконец, если при известной совокупности Z задач диагностирования, решаемых ИДС, и заданных значениях показателей, характеризующих организацию ΣE эксплуатации объекта, организацию ΣD процесса диагностирования, а также свойства ОД и ИДС, необходимо оценить уровень готовности ОД, то задачи организации системы диагностирования могут быть сформулированы следующим образом.

21. Заданы совокупность Z задач диагностирования, решаемых ИДС, и значения показателей ΣE , ΣD , $\Sigma B_{ОД}$, $\Sigma K_{ОД}$, $\Sigma P_{ОД}$ ОД. Требуется определить достигаемое при этом значение показателя готовности ОД.

22. Заданы совокупность Z задач диагностирования, решаемых ИДС, и значения показателей ΣE , ΣD , $\Sigma B_{ОД}$, $\Sigma B_{ИДС}$, $\Sigma K_{ОД}$, $\Sigma K_{ИДС}$, $\Sigma P_{ОД}$, $\Sigma P_{ИДС}$ ОД и ИДС. Требуется определить

достигаемое при этом значение показателя готовности ОД.

23. Заданы совокупность Z задач диагностирования, решаемых ИДС, и значения показателей $\Sigma E, \Sigma D, \Sigma B_{ОД}, \Sigma B_{ИДС}, \Sigma K_{ОД}, \Sigma K_{ИДС}, \Sigma P_{ОД}, \Sigma P_{ИДС}$ ОД и ИДС, вероятностей α и β возникновения в ИДС ошибок первого и второго рода. Требуется определить достигаемое при этом значение показателя готовности ОД.

Полученное множество задач можно разделить на два подмножества - подмножество прямых и подмножество обратных задач организации системы диагностирования. Прямыми задачами организации ИДС будем называть задачи, когда оценивается значение критерия организации системы диагностирования - в данном случае показателя готовности ОД. Обратными задачами будут являться задачи, в результате решения которых определяются требования к системе диагностирования. Поэтому обратные задачи организации ИДС можно называть задачами определения требований к ним. В соответствии с этим к прямым задачам организации ИДС относятся только три задачи: 21, 22, 23, а остальные 20 задач (1-20) являются обратными задачами.

Рассмотренные задачи охватывают ситуации, которые могут возникнуть на практике при построении информационных систем диагностирования при условии, что разработка ИДС не опережает разработку ОД. Отметим, что задачи 1, 2, 6, 9, 10 соответствуют случаю параллельного во времени проектирования ОД и ИДС. Задачи 3, 7, 11, 12, 13, 15, 16 характеризуют случай, когда разработка объекта опережает проектирование используемых для его диагностирования ИДС.

Рассмотрим математическую постановку сформулированных выше задач определения требований к ИДС [6].

Обозначим показатели, характеризующие организацию системы диагностирования, как

$$X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_k, \dots, X_j, \dots, X_n. \quad (1)$$

В данном случае общая постановка задач определения требований к ИДС может быть сформулирована следующим образом.

Заданы значения нескольких характеризующих организацию ИДС показателей $X_i, i=1,2,\dots,k$.

Требуется так выбрать значения остальных характеризующих организацию ИДС показателей $X_j (j=k+1, n)$, чтобы показатель готовности ОД $K_I(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_k, \dots, X_j, \dots, X_n)$ достигал

максимального $K_{I,max}$ (случай 1) и заданного $K_{I,з}$ (случай 2) значений.

Математическая постановка задач определения требований к ИДС в случае 1 имеет вид: найти

$$\max_{\{X_j\} \in L_I} K_I(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_k, \dots, X_j, \dots, X_n) \quad (2)$$

при ограничениях L_I

$$\begin{cases} X_j^H \leq X_j \leq X_j^E \\ \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ X_{n-2}^H \leq X_{n-2} \leq X_{n-2}^E \\ \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ 0 \leq X_{n-1} \leq 1 \\ 0 \leq X_n \leq 1 \end{cases}, \quad (3)$$

где X_j^H, \dots, X_{n-2}^H и X_j^E, \dots, X_{n-2}^E - соответственно нижние и верхние граничные (допустимые) значения показателей X_j, \dots, X_{n-2} .

В случае 2 для определения значений показателей X_j необходимо относительно X_j решить уравнение

$$K_I(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_k, \dots, X_j, \dots, X_n) = K_{I,з}, \quad (4)$$

при учете тех же ограничений (3).

При корректном задании величины $K_{I,з}$ из множества комбинаций показателей X_j существует по крайней мере одна комбинация, которая является решением задачи (3), (4), т. е. обеспечивает $K_{I,з}$. Прямой перебор с дискретными шагами по искомым показателям X_j требует больших затрат памяти и времени расчета на ЭВМ. Поэтому в общем случае задачу (3), (4) при числе показателей X_j , превышающем единицу, целесообразно рассматривать как задачу оптимизации. Такой подход предполагает введение некоторой целевой функции, которая отражает в математической форме цель оптимизации проектирования ИДС и позволяет из множества допустимых вариантов выбрать оптимальный.

Для определения целевой функции, позволяющей свести задачу (3), (4) к оптимизационной задаче, выполним следующее.

Обозначим через

$$\bar{X} = (X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_k, \dots, X_j, \dots, X_n) \quad (5)$$

вектор, принадлежащий n -мерному евклидову пространству $/R^n$

$$\bar{X}=(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_k, \dots, X_j, \dots, X_n) \in /R^n. \quad (6)$$

Рассмотрим функцию

$$K_I(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_k, \dots, X_j, \dots, X_n)=K_I(\bar{X}), \quad (7)$$

множеством задания которой является $/R^n$, а множеством значений – вещественная прямая (вещественные числа), т. е. $R^n \rightarrow R$.

Уравнение

$$K_I(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_k, \dots, X_j, \dots, X_n)=K_I(\bar{X})=K_{I.3}=con \quad (8)$$

задает в n -мерном пространстве $/R^n(n-1)$ – мерную поверхность. Обозначим через

$$\bar{X}_o=[X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_k, \dots, X_j, \dots, X_n] \in L_I \quad (9)$$

вектор, доставляющий максимум функции $K_I(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_k, \dots, X_j, \dots, X_n)=K_I(\bar{X})$, (10)

т. е. решение задачи (2), (3) $K_I(\bar{X})=\max_{X \in L_I} K_I(\bar{X})$.

Через

$$\bar{X}_o=[X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_k, \dots, X_j, \dots, X_n] \in L_I \quad (11)$$

обозначим решение задачи (3), (4): $K_I(\bar{X})=K_{I.3}$.

Значения X_j, \dots, X_n показателей X_j, \dots, X_n являются наилучшими с точки зрения обеспечения максимума готовности ОД. Однако по условию задачи в случае 2 достаточно обеспечить заданный уровень $K_{I.3}$ готовности объекта. Это обстоятельство требует перевода уравнения (3) $K_I(\bar{X})=K_{I.3}$ в число ограничений. В качестве же целевой функции при этом представляется целесообразным использовать функцию близости векторов (точек) \bar{X}_i и \bar{X} обеспечить в процессе проектирования ИДС ее минимум. При такой постановке задачи решение \bar{X}_i в случае 1 будет наиболее близко к решению \bar{X} в случае 2 в пределах $K_{I.3}$. При этом происходит некоторое ухудшение каждого из искомым показателей X_j, \dots, X_n по сравнению соответственно с X_j^o, \dots, X_n^o . Однако это ухудшение распределяется по всему множеству искомым показателей X_j и является минимально возможным.

Таким образом, понятию "близость" необходимо придать строгий математический смысл [6]. Понятие близости двух векторов

$\bar{u}=[U1, U2, \dots, Un] \in /R^n$ и $\bar{v}=[V1, V2, \dots, Vn] \in /R^n$ в n -мерном пространстве $/R^n$ количественно может быть выражено с помощью функции расстояния $d_{2n}(\bar{u}, \bar{v})$ между этими векторами. В этом случае постановка рассматриваемой задачи сводится к описанию функции $d_{2n}(\bar{u}, \bar{v})$, множеством задания которой является пара n -мерных векторов \bar{u} и \bar{v} , а множеством значений – вещественная прямая (вещественные числа) $/R^n$, т. е. $/R^n \times /R^n \rightarrow R$. Функция $d_{2n}(\bar{u}, \bar{v})$ должна удовлетворить следующим условиям. Для всех $\bar{u}=[U1, U2, \dots, Un] \in /R^n$ и $\bar{v}=[V1, V2, \dots, Vn] \in /R^n$ справедливо:

1) $d_{2n}(\bar{u}, \bar{v}) \geq 0$, т. е. расстояние между \bar{u} и \bar{v} неотрицательно;

2) $d_{2n}(\bar{u}, \bar{v}) = 0$, т. е. два вектора \bar{u} и \bar{v} совпадают по длине и направлению тогда и только тогда, когда расстояние между ними равно нулю;

3) $d_{2n}(\bar{u}, \bar{v}) = d_{2n}(\bar{v}, \bar{u})$, т. е. расстояние между \bar{u} и \bar{v} обладает свойством симметрии (расстояние от \bar{u} до \bar{v} равно расстоянию от \bar{v} до \bar{u}).

Пространства, в которых допустимо введение функции $d_{2n}(\bar{u}, \bar{v})$, называется метризуемыми [6]. Ввиду того, что на практике, как правило, метризуемые пространства являются нормируемыми, целесообразно считать, что $d_{2n}(\bar{u}, \bar{v}) = d_n(\bar{u} - \bar{v})$, где d_n – функция, множеством задания которой является n -мерное евклидово пространство $/R^n$, а множеством значений – вещественная прямая (вещественные числа) $/R$, т. е. $/R^n \rightarrow /R$; причем $d_n(\rho \bar{x}) = \rho d_n(\bar{x})$, $\forall \bar{x} \in /R^n$, $\forall \rho \in /R^n$ (ρ – скалярный множитель). Это свойство отражает независимость близости двух векторов от их положения в пространстве $/R^n$.

Поскольку определяется понятие близости, представляется удобным считать, что для функции $d_{2n}(\bar{u}, \bar{v})$, выполняется неравенство треугольника, т. е.

$$d_{2n}(\bar{u}, \bar{v}) \leq d_{2n}(\bar{u}, \bar{w}) + d_{2n}(\bar{w}, \bar{v}), \bar{u}, \bar{v}, \bar{w} \in /R^n. \quad (12)$$

Для функции $d_n(\bar{x})$, следовательно, справедливо [6]:

$$d_n(\bar{x} + \bar{y}) \leq d_n(\bar{x}) + d_n(\bar{y}), \forall \bar{x}, \bar{y} \in /R^n, \quad (13)$$

$$d_n(\bar{x}) \geq 0, \quad (14)$$

$$d_n(\bar{x}) = 0 \Leftrightarrow \bar{x} = 0, \quad (15)$$

$$d_n(\rho \bar{x}) = |\rho| d_n(\bar{x}), \forall \rho \in /R. \quad (16)$$

Таким образом, функция $d_n(\bar{x})$ удовлетворяет аксиомам (13) – (16) нормы в n -мерном евклидовом пространстве R^n . В этом случае функция $d_{2n}(\bar{u}, \bar{v})$ представляет собой расстояние в пространстве R^n , порожденное нормой $d_n(\bar{x})$. Наиболее распространенными нормированными n -мерными пространствами являются пространства l_n^p , $n \in N$ (N – множество натуральных чисел), $1 \leq p \leq \infty$. l_n^p представляет собой множество векторов (точек) $\bar{x} = [X_1, X_2, \dots, X_n] \in R^n$, норма которых определяется формулой:

$$\|\bar{x}\|_{l_n^p} = \left(\sum_{j=1}^n |X_j|^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad (17)$$

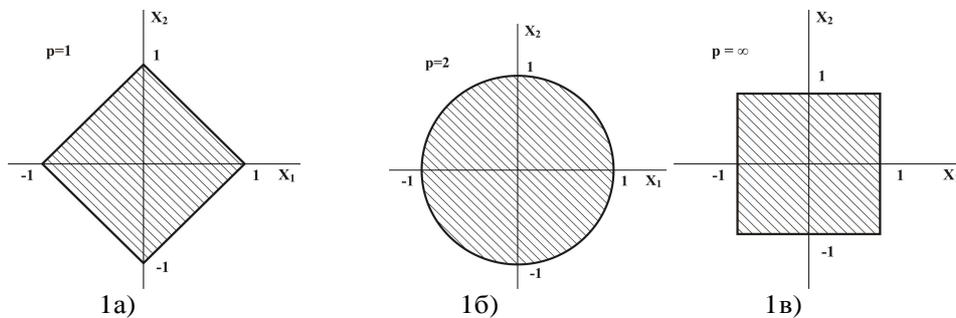


Рисунок 1 - Геометрическая интерпретация отображения множества векторов \bar{x} в пространстве

Функцию $d_n(\bar{x})$ удобно рассматривать в пространстве l_n^p . Учитывая, что $X_j \in R$, а $p=2$, функция $d_n(\bar{x})$ будет иметь вид:

$$d_n(\bar{x}) = \left(\sum_{j=1}^n X_j^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

Выбор случая $p=2$ объясняется тем, что пространство l_n^p , являясь обычным n -мерным евклидовым пространством, позволяет описать расстояние хорошо отработанными методами аналитической геометрии, и, кроме того, способов производства вычислений в l_n^p больше, что в конечном счете может снизить сложность вычислительного процесса при определении нормы вектора $\bar{x} = [X_1, X_2, \dots, X_n] \in R^n$.

На основании этого понятия близости двух векторов \bar{x}_0 и \bar{x} можно придать количественный смысл. Будем говорить, что вектор \bar{x}^* ближе к вектору \bar{x}_0 , чем вектор \bar{y}^* , если $d_n(\bar{x}^* - \bar{x}_0) < (d_n(\bar{y}^* - \bar{x}_0))$. В этом случае рассматриваемая задача сводится к нахождению на поверхности, задаваемой уравнением $K_I(\bar{x}) = K_{I,3}$, вектора,

Физический смысл числа p состоит в задании формы множества векторов \bar{x} , таких, что $\|\bar{x}\|_{l_n^p} \leq 1$. Это множество геометрически представляет собой шар единичного радиуса (единичный шар) в пространстве l_n^p . Например, для $\bar{x} = [X_1, X_2]$ ($n=2$) при $p=1$ шар имеет форму квадрата со сторонами, наклоненными к осям X_1, X_2 под углом в 45° (рисунок 1а), при $p=2$ – форму круга (рисунок 1б), при $p=\infty$ – форму квадрата со сторонами, параллельными осям X_1, X_2 (рисунок 1в).

наиболее близкого к вектору \bar{x}_0 , доставляющему максимум функции $K_I(\bar{x})$.

Значения показателей $X_{k+1}, \dots, X_j, \dots, X_n$, которые характеризуют организацию системы диагностирования, вследствие их различной физической природы могут различаться на несколько порядков. Поэтому целесообразно изменить вид выражения (18) функции $d_n(\bar{x})$, отмасштабировав показатели $X_{k+1}, \dots, X_j, \dots, X_n$. Учитывая, что в данном случае варьируются показатели $X_{k+1}, \dots, X_j, \dots, X_n$, искомой целевой функцией в этом случае будет являться функция $r(\bar{x})$, вида

$$r(\bar{x}) = \left[\sum_{j=k+1}^{n-2} \left(\frac{X_j - X_j^o}{X_j^o} \right) + X_{n-1}^2 + X_n^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

Таким образом, на основании изложенного задача (3), (4) определения требований к ИДС в случае 2 может быть сведена к следующей оптимизационной задаче.

Найти

$$\min_{\{X_j\} \in L_2} r(\bar{X}) = \left[\sum_{j=k+1}^{n-2} \left(\frac{X_j - X_j^o}{X_j^o} \right) + X_{n-1}^2 + X_n^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

при обмеженнях L_2

$$\begin{cases} X_j^n \leq X_j^n \leq X_j^a \\ \dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \\ X_{n-2}^n \leq X_n^n \leq X_{n-2}^a \\ 0 \leq X_{n-1}^n \leq 1 \\ 0 \leq X_n^n \leq 1 \\ K_r(\bar{X}) = K_{r,3} \end{cases} \quad (21)$$

Поставлена таким образом задача оптимизации (20), (21) является универсальной, поскольку применима к любой из задач определения требований к ИДС, приведенных ранее. Она принципиально не зависит ни от количества искомым показателей X_j (значения которых подлежат определению), ни от конкретных требований, которые предъявляются к каждому из них (т.е. от необходимости максимизировать или минимизировать соответствующий показатель X_j , входящий в вектор \bar{X}).

Выводы

1. Сформулированы основные задачи организации информационных диагностических систем, которые учитывают получение конкретных результатов в зависимости от процесса диагностирования, организации его эксплуатации, контролепригодности и ремонтпригодности. Предложены варианты этих задач, непосредственно связанные с информационным обеспечением всего диагностического процесса.

2. Для определения требований к организации информационных диагностических систем предложена методика математической оптимизации задач на основе учета различных комбинаций показателей готовности, контролепригодности и ремонтпригодности объекта диагностирования.

Литература

1. Васин, П.А. Для диагностики тепловоза – комплекс "Магистраль" [Текст] / П.А.Васин // Локомотив. – 2001. - №7. – С.27-31.

2. Бабанін, О.Б. Переносний електронний реєструючий комплекс [Текст] / О.Б. Бабанін, В.М. Резнік // Міжвуз. зб. наук. пр. – Харків.: ХарДАЗТ, 1998. - Вип.34 - С.57-59.

3. Горленко, А.В. Будущее за автоматизированной диагностикой [Текст] / А.В. Горленко, А.Л. Донский, И.К. Лакин // Электрическая и тепловозная тяга. – 1986. - №9. – С.16-19.

4. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки [Текст]. – К.: Укрзалізниця, 2009.

5. Коссов, Е.Е. Экспериментальное исследование переходных процессов тепловозных дизелей и систем автоматического регулирования [Текст] / Е.Е. Коссов, И.Л. Поварков // Труды ВНИИЖТ. – 1977. – Вып.670. – С.71-93.

6. Мозгалеvский, А.В. Системы диагностики судового оборудования [Текст] / А.В. Мозгалеvский, В.П. Калявин. – Л.: Судостроение, 1987. – 224с.

7. Плохов, Е.М. Пункт диагностики тепловозов в локомотивном депо [Текст] / Е.М. Плохов, С.А. Серпов, Г.П. Токарев // Межвуз. сб. науч. трудов. – ВЗИИТ. – 1987. – Вып.136. – С.21-24.

8. Романов, В.Б. Компьютерная диагностика здоровья локомотивов [Текст] / В.Б. Романов // Локомотив. – 1993. - №4. – С.30-31.

9. Тулугуров, В.В. Диагностика локомотивов: что предпочтительнее [Текст] / В.В. Тулугуров, С.Г. Дегтерев // Локомотив. – 2010. - №3. – С.16-17.

10. Фофанов, Г.А. Компьютерная система для испытаний тепловозов и тепловозных дизелей [Текст] / Г.А. Фофанов, Д.Н. Григорович // Вестник ВНИИЖТ. – 1997. - №3. – С.14-16.

11. Хомич, А.З. Диагностика и регулировка тепловозов [Текст] / А.З. Хомич, С.Г. Жалкин, Э.Д. Гартаковский. – М.: Транспорт, 1977.

Бабанін О.Б., Турчинов Р.В. Задачі і оптимізація вимог до інформаційних систем для діагностування локомотивів. Розглянуто основні теоретичні завдання щодо створення інформаційних діагностичних систем для визначення технічного стану локомотива, які враховують одержання конкретних результатів залежно від організації його експлуатації, процесу діагностування, контролепридатності й ремонтпридатності. Запропоновано методику математичної оптимізації цих задач на основі урахування різних комбінацій показників готовності, контролепридатності й ремонтпридатності локомотивів.

Ключові слова: оптимізація, інформаційні системи для діагностування локомотивів, вимоги до інформаційних систем.

Babanin O.B., Turchinov R.V. Tasks and optimization of requirements to information systems for locomotive diagnostics. Basic theoretical tasks as to the creation of information diagnostic systems to determine locomotive technical state have been considered. They take into account receiving concrete results depending on the organization of locomotive operation, the process of diagnostics, testability and maintainability. The method of mathematical optimization of these tasks on the base of the account of different combinations of indices of readiness, testability and maintainability of a locomotive has been offered.

Key words: optimization, information systems for locomotive diagnostics, requirements to information systems.

Рецензент д.т.н., професор Фалендиш А.П.
(УкрГАЗТ)

Поступила 14.02.2013г.