

Н. А. Северцев, А. В. Бецков, А. Н. Дарьина

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

N. A. Severtsev, A. V. Betskov, A. N. Dar'ina

METHODS AND MODELS OF CREATING AUTOMATED CONTROL MEANS TO IMPROVE SAFETY FUNCTIONING OF TECHNICAL SYSTEMS

Аннотация. При проектировании технических систем их разработчик, как правило, использует следующие методы на эвристическом уровне. Первый метод предполагает путь отсчета «от объекта контроля», когда разработчик на основании структурных, функциональных, принципиальных и других схем исследует создаваемый объект и контроль его параметров при функционировании объекта, а затем выбирает совокупность параметров и характеристики сигналов во временном диапазоне. Иначе, формирует измерительные задачи, для решения которых определяется номенклатура средств измерений, обеспечивающих их совместное функционирование под управлением ЭВМ в составе средств контроля и автоматизированного контроля. Второй метод предполагает «движение» от штатных средств измерений параметров создаваемой системы, иначе – опосредованное изучение объекта (системы) к замене ранее используемой контрольно-измерительной аппаратуры. Здесь имеется в виду, что оба метода на основании технической эксплуатационной документации позволяют создать алгоритмы контроля, диагностики и представление необходимой информации оператору. Первый метод наиболее эффективен для измерений при создании технических систем и их оборудования и получил широкую реализацию. Второй метод можно использовать при замене штатных средств измерений на более современные. Построение средств контроля предполагает комплексное решение задач структурной и параметрической оптимизации. Структурная оптимизация средств контроля, создаваемых на базе ЭВМ и приборов-модулей, объединенных интерфейсами, связана с варьированием их компонентами: типами и вариантами приборов-модулей (модульно-контрольно-измерительное оборудование); типами, последовательностью и вариантами технологических операций, необходимых при контроле и диагностировании объектов контроля. В статье приводится математическое описание моделей создания автоматизированных средств контроля для повышения безопасности функционирования технических систем на примере радиоэлектронного оборудования.

Ключевые слова: матрицы, уровни, управление, вероятность, показатель, гарантированные оценки.

Abstract. When designing technical systems, their developer, as a rule, uses the following methods at a heuristic level. The first method assumes the path of reference “from the object of control”, when the developer, on the basis of structural, functional, principal and other schemes, examines the created object and controls its parameters during the operation of the object, and then selects a set of parameters and signal characteristics in the time range. Otherwise, it forms measurement tasks, for the solution of which the nomenclature of measuring instruments is determined, ensuring their joint operation under the control of a computer as part of control and automated control devices (SC-ASK). The second method assumes “movement” from the standard means of measuring the parameters of the system being created, otherwise – indirectly studying the object (system) and replacing the previously used test equipment. Here it is meant that both methods on the basis of technical operational documentation allow creating control algorithms, diagnostics and the presentation of necessary information to the operator. The first method is most effective for measuring the creation of technical systems and their equipment and has been widely implemented. The second method can be used when replacing standard measuring instruments with more modern ones. The article provides a mathematical description of the creation models of automated controls to improve the safety of the operation of technical systems on the example of electronic equipment.

Keywords: matrices, levels, control, probability, exponent, guaranteed estimates.

При разработке или модернизации радиоэлектронного оборудования технических систем (особенно транспортных) возникает задача, связанная с выбором множества объектов контроля (ОК) и множества средств контроля (СК). Для решения этой задачи требуется произвести разделение ОК на классы по техническим характеристикам, а затем для сформированного класса объектов контроля осуществить в соответствии с их характеристиками подбор необходимых средств контроля.

Применение процедуры классификации множества ОК дает возможность осуществить компактное формирование пространства технических признаков ОК по классам. Это в свою очередь способствует устранению функциональной и параметрической избыточности синтезируемых наборов СК для сформированных классов ОК.

Таким образом, классификация ОК заключается в том, чтобы отнести каждый предъявляемый объект к тому или иному классу. Классы могут быть образованы в процессе применения решающих правил ко всему количеству рассматриваемых объектов, принадлежность которых к определенному классу заранее не известна.

Методы классификации ОК определяются решающим правилом и метрическим пространством, используемыми исследователями или разработчиками технических систем. Наиболее широко в настоящее время используются метрические пространства с метриками Евклида, Манхэттена, Чебышева. Чем меньше метрическое расстояние между двумя классами ОК, тем больше сходство между ними [1, 2].

Технические характеристики различных ОК и особенно РЭО, как правило, представлены диапазонами характеристик, соответствующих всевозможным проекциям на различные плоскости разделяемого на классы многомерного метрического пространства. При формировании решающей функции на выбранном метрическом пространстве, обеспечивающей разделение множества ОК на требуемые классы, возникает неопределенность, связанная с тем, что диапазоны технических характеристик ОК могут пересекаться, не пересекаться или быть равными. Признаки разделяемого множества ОК на классы, как правило, представляются списками (наборами диапазонов) технических характеристик, а решающая функция задается на основе меры сравнения списков.

Для определения меры сходства или различия между списками, состоящими из технических характеристик, из всех известных работ наибольшее внимание заслуживает метод Кендала [3, 4]. Для двух списков $X_i^T = \{x_{i1}, \dots, x_{in}, \dots, x_{iN}\}$ и $X_j^T = \{x_{j1}, \dots, x_{jn}, \dots, x_{jN}\}$ расстояние по Кендалу вычисляется по формуле

$$d(X_i^T, X_j^T) = 1 - \frac{2}{N(N-1)} \sum_{p=1}^{N-1} \sum_{\substack{h=1, \\ k=h+1}}^{N-p} K_{hk}^i K_{hk}^j, \quad (1)$$

где N – количество элементов в списках X_i^T и X_j^T ; K_{hk}^i – коэффициент парного сравнения следования элементов $\{x_{ik}, x_{ih}\}$ в списке X_i^T ; K_{hk}^j – коэффициент парного сравнения следования элементов $\{x_{jk}, x_{jh}\}$ в списке X_j^T ; k и h – переменные, определяющие в каждом списке пары элементов, $h = 1, 2, \dots, n, \dots, N-1$, $k = 1, 2, \dots, n, \dots, N$, $h < k$, $p = 1, 2, \dots, N-1$.

Коэффициенты сравнения следования элементов списков K_{hk}^i , K_{hk}^j определяются по формулам

$$K_{hk}^i = \begin{cases} +1, & x_{ih} > x_{ik}, \\ -1, & x_{ih} < x_{ik}, \\ 0, & x_{ih} = x_{ik} \end{cases} \text{ и } K_{hk}^j = \begin{cases} +1, & x_{jh} > x_{jk}, \\ -1, & x_{jh} < x_{jk}, \\ 0, & x_{jh} = x_{jk}. \end{cases}$$

Если компоненты обоих списков X_i^T и X_j^T были упорядочены однотипно, то $K_{hk}^i = K_{hk}^j$, при этом результат суммирования этих коэффициентов равен половине числа размещений N элементов по 2, т.е. $\frac{N(N-1)}{2}$. В этом случае расстояние между списками согласно (1) $d(X_i, X_j) = 0$. Это соответствует тому, что оба списка попадают в один класс.

Если два списка идентичны и один из них относительно другого упорядочен в обратном направлении, то в соответствии с методом Кендала принимается решение о том, что списки различны,

т.е. происходит ошибочное разделение рассматриваемых списков на классы. Это объясняется тем, что метод Кендала обеспечивает сравнение двух списков X_i^T и X_j^T только по порядкам следования элементов в этих списках. Он не позволяет сравнивать между собой поэлементно вербальные и количественные характеристики списков и не может применяться в том случае, когда количественные характеристики задаются в виде диапазонов численных значений, которые могут пересекаться, не пересекаться, быть равными между собой или включаться друг в друга. Поэтому возникает необходимость разработать новый метод для решения задач классификации ОК, признаки которых представляются списками (наборами диапазонов) технических характеристик, а сейчас рассмотрим методы структурной и параметрической оптимизации выбора наилучшего (по совокупности) технико-экономического варианта.

При проектировании автоматизированных средств контроля и диагностирования или формировании набора СК решается основной комплекс задач, который связан с выбором наилучшего по совокупности технико-экономических показателей варианта. Эти задачи имеют несколько разновидностей, которым соответствуют три уровня оптимизации. Первый уровень оптимизации состоит в выборе наилучшей технической идеи или принципа действия проектируемого объекта; второй – в поиске наилучшей структуры или схемы в рамках выбранного принципа действия; третий – в определении наилучших значений параметров для выбранной структуры (схемы).

Разделение на три уровня является условным, и строгой границы между ними провести невозможно. Задачи первого уровня характерны для этапов внешнего проектирования и решаются с использованием подходов и методов эвристического программирования. Задачи второго и третьего уровней ориентированы на этапы внутреннего проектирования, которые соответственно являются задачами структурной и параметрической оптимизации [5].

Построение средств контроля предполагает комплексное решение задач структурной и параметрической оптимизации. Структурная оптимизация СК, создаваемых на базе ЭВМ и приборомодулей, объединенных интерфейсами, связана с варьированием их компонентами: типами и вариантами приборомодулей (модульно-контрольно-измерительное оборудование – МКИО); типами, последовательностью и вариантами технологических операций, необходимых при контроле и диагностировании объектов контроля, в нашем случае – радиоэлектронного оборудования [6, 7].

Каждый вариант СК/АСК – W_g формируется из элементов A_g и H_k , где элемент A_g представляет собой g -ю аппаратную часть – базовую структуру СК/АСК, состоящую из совокупности приборомодулей, H_k – выполняемые технологические операции.

Совокупность A_g и взаимосвязей между ними характеризуют структуру СК, а задача оптимизации состоит в выборе на множестве комбинаций элементов W_g варианта $W_{(opt)g}$, оптимального в смысле заданных технических и технико-экономических показателей (критериев).

Возможности изменения перечисленных компонент определяются разнообразием двух множеств A , H и связей между ними.

Для базовых структур СК: $A_g \in A$, $g = 1, \dots, G$, где « $\in$ » – знак «принадлежности»; A – множество вариантов базовых структур СК; G – множество индексов наименований.

Для технологических операций: $H_k \in H$, $k = 1, \dots, K$, где H – множество технологических операций; K – множество индексов наименований.

Под вариантом СК будем понимать совокупность элементов $A_g \in A$, $H_k \in H$. В этом случае вариант СК W_g удобно рассматривать в виде произведения на непустых множествах A и H , $W \in A \times H$. Здесь

$$A = (A_1, \dots, A_g, \dots, A_G); H = (H_1, \dots, H_k, \dots, H_K); g = 1, \dots, G; k = 1, \dots, K.$$

Обозначим совместную пару элементов $(A_g \times H_k = W_g)$, $g = 1, \dots, G$. Тогда множество W вариантов СК имеет вид $W = (W_1, \dots, W_g, \dots, W_G)$. Учитывая, что последовательность элементов H_k задается технологиями выполнения регламентных работ и ремонта (технологическими операциями), количество и порядок выполнения которых заранее известны, то при $k = g$ H_k соответствует вари-

анту A_g . Следовательно, если во множестве W рассматривать только элементы H , то задача оптимизации сводится к задаче определения оптимального набора технологических операций, выполняемых вариантом A_g . Если во множестве W рассматривать только элементы A , то задача оптимизации сводится к задаче определения оптимальной структуры СК для выполнения соответствующих технологических операций.

Заметим, что задача структурной оптимизации в такой постановке характеризуется рядом особенностей:

1. Необходимость формирования вариантов СК W_g путем варьирования реализациями элементов A_g , H_k как внутри самих множеств A и H , так и между собой приводит к комбинаторной неопределенности в выборе оптимального варианта $W_{(opt)g}$.

2. Множественность технико-экономических требований к системе $W_{(opt)g}$ по элементу A_g , что является причиной неопределенности в выборе цели оптимизации.

3. Значения технических и технико-экономических показателей по элементу A_g связаны с вариантом структуры W_g и вычисляются по математической зависимости параметрического типа только для определенной комбинации $W = (W_1, ..., W_g, ..., W_G)$ элементов W_g . Переход к определению зависимости параметрического типа непосредственно через варьируемые компоненты A_g структуры, а не их комбинации $W = (W_1, ..., W_g, ..., W_G)$, $g = 1, ..., G$ приводит к неопределенности математического описания элемента комбинации W_g .

При выбранной структуре W_g параметрическая оптимизация состоит в поиске оптимального вектора параметров технических и технико-экономических показателей, при котором обеспечивается выполнение заданных требований к W_g варианту СК. Изменение каждого из оптимизируемых параметров технико-экономических показателей W_g варианта ограничено условиями оптимальности по каждому из показателей $X_{g,1min} \leq X_{g,p} \leq X_{g,pmax}$, $g = 1, ..., G$, $p = 1, ..., P$, где P – количество показателей, а требования задаются в форме экстремальных условий (например, минимума) $X_{g,p} \rightarrow \text{Minimize}$, которые принято называть критериями (целями) оптимизации, или в форме граничных условий $X_{g,p} \leq O_p$, где $O = (O_1, ..., O_p, ..., O_P)$ – ограничения на показатели $X_{g,p}$, $p \in P$.

Наиболее распространенными являются следующие задачи параметрической оптимизации [6–8]:

– без ограничений $X_{g,p} \rightarrow \text{Minimize}$;

– математического программирования $X_{g,p} \rightarrow \text{Minimize}$, $X_{g,1min} \leq X_{g,p} \leq X_{g,pmax}$.

Известные [5, 9] универсальные методы структурной оптимизации в качестве основного признака учитывают только комбинаторный характер формирования W_g . Поэтому на их основе могут быть решены только частные задачи выбора оптимальной базовой структуры СК.

Одним из подходов к решению подобных задач является полный перебор [8]. Он предлагает предварительный синтез вариантов базовых структур СК A_g , которые можно получить путем формирования всех возможных комбинаций элементов из приборов-модулей. Для генерации множества возможных вариантов используют, как правило, метод морфологического ящика (таблиц фрагментов, которые могут входить в состав проектируемой системы, позволяющей формировать их допустимые комбинации). Положительной стороной полного перебора является просмотр всех разрешенных комбинаций, что обеспечивает высокую надежность принятия оптимального решения.

Рассмотренный подход имеет недостатки, которые накладывают ограничение на его применение.

Во-первых, отсутствие математических моделей, учитывающих системные связи между вариантом СК и технологическими операциями, требует формализации разрешенных комбинаций для каждой частной задачи, что существенно увеличивает затраты на предварительную подготовку автоматизированного решения.

Во-вторых, полное число вариантов W_g оказывается достаточно большим, и машинное время, необходимое для их генерирования, становится неприемлемым.

В-третьих, в случае множества $O = (O_1, ..., O_p, ..., O_p)$ технико-экономических требований поиск оптимальной системы приводит к дополнительным затратам на повторный перебор и анализ в области компромиссов.

Одним из подходов, направленных на ограничение числа предварительно синтезируемых вариантов, является сокращенный перебор на основе случайного поиска [8, 10]. При разработке математических моделей структурной оптимизации СК будет невозможно построить целенаправленные поисковые процедуры, прогнозирующие положение системы в пространстве показателей, что увеличивает надежность неполного перебора. Кроме того, в этом случае удастся обосновать условие останова неуправляемого процесса случайного поиска. Для реализации структурной оптимизации СК с применением комбинаторных подходов можно использовать методы дискретного программирования [11]. Однако необходимость учета системных связей, совместного влияния нескольких типов неопределенностей при выборе структуры СК приводит к NP -полным задачам дискретной оптимизации, для которых получение точного решения $W_{(opt)g}$ является неэффективным, поскольку трудоемкость поиска экспоненциально зависит от их размерности. Приближенные методы снижают надежность выбора оптимального варианта. Они позволяют определить только показатели единственного решения, при этом теряется возможность в ходе поиска обозреть группу доминирующих вариантов.

Таким образом, возникает необходимость разработки новых методов внешнего и внутреннего проектирования, последовательность и совокупность которых составила бы методику оптимального и рационального построения базовых структур СК в зависимости от выбранных критериев и ограничений на параметры системы, позволяющей обеспечить минимальную трудоемкость автоматизированного решения. Заметим, что предложенная ниже методика позволяет также осуществлять и оптимизацию набора технологических операций, однако с этой точки зрения она имеет перспективу.

Рассмотрим определенные соображения создания унифицированных базовых структур автоматизированных средств контроля технических систем.

Разработка СК/АСК, позволяющих обеспечить решение задач контроля и диагностирования группы (групп) ОК разнотипных технических систем, приводит к необходимости определения, в этом смысле, унифицированных базовых наборов СК с интерфейсами КОП или VXI (приборов на принципе модульно-контрольно-измерительного оборудования (МКИО)). Исходя из этого, при построении СК/АСК возникает задача, связанная с выбором для множества объектов контроля множества средств измерений. Задачу такого рода можно отнести к классу задач о покрытии исходного множества минимальным числом имеющихся подмножеств. Из теории комбинаторного анализа и дискретной математики известно, что задачи о покрытии являются NP -сложными и трудно разрешимыми вследствие проблемы Турана [12], обусловленной выбором минимальной системы подмножеств, покрывающих исходное множество. В нашем случае это усложняется еще и тем, что в качестве элементов покрываемого множества и покрывающих подмножеств выступают диапазоны технических характеристик ОК и приборов. При этом характерна следующая особенность: диапазоны характеристик одного типа (например, диапазоны частот), принадлежащие различным ОК, могут как перекрываться, так и не перекрываться или быть равными между собой. Решить задачу о покрытии методами линейного программирования также невозможно из-за указанной выше особенности и возникающей при этом неопределенности в размерности задачи линейного программирования (не определены количество и комбинации приборов).

Устранить проблему Турана можно, если свести задачу массового перебора к задаче перебора, где рассматриваются только те варианты решений, которые состоят из наименьшего, одинакового количества элементов покрывающих подмножеств (средств измерений). В этом случае получаемые варианты базовых структур СК/АСК имеют одинаковое количество приборов, что позволяет предложить новый метод решения задач многокритериальной оптимизации и дает возможность применить известные методы линейного программирования.

Методика построения унифицированных базовых структур АСК [10] базируется на моделях и состоит из следующих методов:

- классификации объектов контроля;
- формирования обобщенного объекта контроля;

- покрытия характеристик обобщенного объекта контроля характеристиками средств контроля;
- формирования вариантов наборов средств контроля;
- определения оптимального набора средств контроля;
- определения рационального набора средств контроля.

Более подробно об изложенных методах см. в работе [4].

Если рассматривать проблему классификации объектов контроля технических систем в самом общем виде, то ее можно сформулировать как задачу разработки процедуры, позволяющей разделять множество ОК по тем или иным признакам на классы. Для реализации этой процедуры разработаем модель классификации ОК РЭО (под ОК РЭО будем понимать и другие технические системы, имеющие подобные характеристики) по их вербальным признакам.

Пусть задано множество ОК РЭО $S_{РЭО}(r^T)$. Каждый ОК РЭО $S_{РЭО}^j(r^T) \in S_{РЭО}(r^T)$ характеризуется только набором r^T технических характеристик, где $j = 1, 2, \dots, J$ – общее количество ОК систем техники.

Тогда разделение $S_{РЭО}(r^T)$ на $CI_n(r^T)$ – классы ОК систем техники по наборам r^T отображается функцией

$$S_{i_1} : S_{РЭО}(r^T) \rightarrow \{CI_1(r^T), \dots, CI_n(r^T), \dots, CI_N(r^T)\}, \quad (2)$$

где $CI_n(r^T) \in S_{РЭО}(r^T)$, $n = 1, 2, \dots, N$ – общее количество образованных классов ОК на множестве $S_{РЭО}(r^T)$.

Функция разделения S_{i_1} множества $S_{РЭО}(r^T)$ на подмножества – классы ОК – $CI_n(r^T)$ задается рекуррентной формулой

$$CI_{n+1}(r^T) = \begin{cases} \emptyset, & S_{РЭО}(r^T) = \emptyset, \\ CI_n \not\subset S_{РЭО}(r^T), & S_{РЭО}(r^T) \neq \emptyset. \end{cases} \quad (3)$$

Образование очередного подмножества ОК технических систем $CI_n(r^T)$ можно описать следующим выражением

$$CI_n(r^T) = S_{РЭО}^K(r^T) + \sum_{j=1}^J b_j S_{РЭО}^j(r^T), \quad (4)$$

где b_j – булева переменная, управляющая включением или выключением ОК РЭО в класс (подмножество) $CI(r^T)$ и принимающая значение 1, если $S_{РЭО}^K(r^T) = S_{РЭО}^j(r^T)$ по набору r^T и 0 – в противном случае, $k \neq j$, $k \in J$. С учетом (2)–(4) модель классификации ОК РЭО примет следующий вид:

$$S_{i_1}(S_{РЭО}(r^T)) = \sum_{n=1}^{N-1} (CI_{n+1}(r^T) \cap CI_n(r^T) = \emptyset); \quad (5)$$

$$b_j = \begin{cases} 1, & S_{РЭО}^K(r^T) = S_{РЭО}^j(r^T), \\ 0, & S_{РЭО}^K(r^T) \neq S_{РЭО}^j(r^T), \end{cases} \quad (6)$$

где « $=$ » – знак равенства двух ОК технических систем по наборам признаков технических характеристик; « $\neq$ » – знак неравенства двух ОК РЭО по наборам признаков технических характеристик; « $\cap$ » – знак пересечения классов ОК РЭО $CI_n(r^T)$ по наборам признаков технических характеристик; $n = 1, 2, \dots, N$, $j = 1, 2, \dots, J$, $k \neq j$, $k \in J$, $S_{РЭО}^K(r^T) \in S_{РЭО}(r^T)$, $S_{РЭО}^j(r^T) \in S_{РЭО}(r^T)$.

Таким образом, модель (4)–(6) позволяет описать процесс разделения множества ОК РЭО $S_{РЭО}^K$ на классы (подмножества) ОК РЭО $CI_n(r^T)$.

Библиографический список

1. Фор, А. Восприятие и распространение образов / А. Фор ; под ред. Г. П. Катуса ; пер. с фран. А. В. Серединского. – Москва : Машиностроение, 1989 – 272 с.
2. Дюран, Б. Кластерный анализ / Б. Дюран ; под ред. А. Я. Боярского ; пер. с англ. Е. З. Демиденко. – Москва : Статистика, 1977. – 128 с.
3. Miclet, L. *Methods structurales pour la reconnaissance des formes* / L. Miclet. – Eyroeles Edit, 1984. – P. 9–11.
4. Michalsci, R. S. *Recent advance in data analysis* / R. S. Michalsci ; et. A. Diday. – North Holland Edit, 1984. – P. 9–11.
5. Фролов, В. Н. Автоматизированное проектирование технологических процессов и систем производства РЭС / В. Н. Фролов, Я. Е. Львович, А. П. Меткин. – Москва : Высш. шк., 1991. – 463 с.
6. Шипилов, В. В. Последовательная оптимизация базовых структур автоматизированных измерительных средств контроля / В. В. Шипилов // Науч. Сб. ГНИИ (Эра). – 2010. – № 8. – С. 215–221.
7. Шипилов, В. В. Об одном методе классификации объектов контроля радиоэлектронного оборудования / В. В. Шипилов // Контроль. Диагностика. – 2006. – № 7. – С. 56–59.
8. Пападимитриу, Х. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность : пер. с англ. / Х. Пападимитриу, К. Стайглиц. – Москва : Мир, 1985. – 512 с.
9. Шипилов, В. В. Системная модель, методология и адаптивный алгоритм построения унифицированных средств контроля радиоэлектронного оборудования / В. В. Шипилов. – Москва : РУДН, 2005. – 183 с.
10. Корбут, А. А. Дискретное программирование / А. А. Корбут, Ю. Ю. Филькинштейн. – Москва : Наука, 1969.
11. Тараканов, В. Е. Комбинаторные задачи и (0, 1)-матрицы / В. Е. Тараканов. – Москва : Наука, 1977.
12. Шипилов, В. В. Об одном подходе к решению задач многокритериальной оптимизации базовых структур средств и систем контроля РЭО / В. В. Шипилов // Контроль, диагностика. – 2006. – № 6. – С. 26–28.

References

1. For A. *Vospriyatie i rasprostranenie obrazov* [Perception and distribution of images]; transl. from French by A. V. Seredinskiy. Moscow: Mashinostroenie, 1989, 272 p. [In Russian]
2. Dyuran B. *Klasternyy analiz: per. s angl. E. Z. Demidenko* [Cluster analysis : translation from English E. Z. Demidenko]. Moscow: Statistika, 1977, 128 p. [In Russian]
3. Miclet L. *Methods structurales pour la reconnaissance des formes*, Eyroeles Edit [Structural methods for pattern recognition, Eyroeles Edit]. 1984, pp. 9–11.
4. Michalsci R. S. *Recent advance in data analysis*. North Holland Edit, 1984, pp. 9–11.
5. Frolov V. N., L'vovich Ya. E., Metkin A. P. *Avtomatizirovannoe proektirovanie tekhnologicheskikh protsessov i sistem proizvodstva RES* [Computer-aided design of technological processes and production systems of RES]. Moscow: Vyssh. shk., 1991, 463 p. [In Russian]
6. Shipilov V. V. *Nauch. Sb. GNII (Era)* [Scientific Collection of GNII (Era)]. 2010, no. 8, pp. 215–221. [In Russian]
7. Shipilov V. V. *Kontrol'. Diagnostika* [Control. Diagnostics]. 2006, no. 7, pp. 56–59. [In Russian]
8. Papadimitritsu Kh., Stayglits K. *Kombinatornaya optimizatsiya. Algoritmy i slozhnost': per. s angl.* [Combinatorial optimization. Algorithms and complexity : translation from English]. Moscow: Mir, 1985, 512 p. [In Russian]
9. Shipilov V. V. *Sistemnaya model', metodologiya i adaptivnyy algoritm postroeniya unifitsirovannykh sredstv kontrolya radioelektronnogo oborudovaniya* [System model, methodology and adaptive algorithm for the construction of unified means of control of electronic equipment]. Moscow: RUDN, 2005, 183 p. [In Russian]
10. Korbut A. A., Fil'kinshteyn Yu. Yu. *Diskretnoe programmirovaniye* [Discrete programming]. Moscow: Nauka, 1969. [In Russian]
11. Tarakanov V. E. *Kombinatornye zadachi i (0, 1)-matritsy* [Combinatorial problems and (0, 1)-matrices]. Moscow: Nauka, 1977. [In Russian]
12. Shipilov V. V. *Kontrol', diagnostika* [Control, diagnostics]. 2006, no. 6, pp. 26–28. [In Russian]

Северцев Николай Алексеевич

доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
Федеральный исследовательский центр
«Информатика и Управление»
Российской академии наук
(Вычислительный центр
им. А. А. Дородницына РАН)
(119333, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, 40)
E-mail: severs@ccas.ru

Severtsev Nikolay Alekseevich

doctor of technical sciences, professor,
chief researcher,
Federal research center
«Computer science and control» of RAS
(Dorodnitsyn computer center
of the Russian Academy of Sciences)
(119333, 40 Vavilova street, Moscow, Russia)

Бецков Александр Викторович

доктор технических наук, доцент,
заместитель начальника,
Академия управления МВД России
(125171, Россия, г. Москва,
ул. Зои и Александра Космодемьянских, 8)
E-mail: abckov@mail.ru

Дарьина Анна Николаевна

кандидат физико-математических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник,
Федеральный исследовательский центр
«Информатика и Управление»
Российской академии наук
(Вычислительный центр
им. А. А. Дородницына РАН)
(119333, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, 40)
E-mail: daryina@ccas.ru

Betskov Aleksandr Viktorovich

doctor of technical sciences,
associate professor, deputy chief,
Management Academy of the Ministry of the Interior
of the Russian Federation
(125171, 8 Zoi i Aleksandra Kosmodem'yanskikh
street, Moscow, Russia)

Darina Anna Nikolaevna

candidate of physical and mathematical sciences,
associate professor, leading researcher,
Federal research center
«Computer science and control» of RAS
(Dorodnitsyn computer center
of the Russian Academy of Sciences)
(119333, 40 Vavilova street, Moscow, Russia)

Образец цитирования:

Северцев, Н. А. Методы и модели создания автоматизированных средств контроля для повышения безопасности функционирования технических систем / Н. А. Северцев, А. В. Бецков, А. Н. Дарьина // Надежность и качество сложных систем. – 2019. – № 2 (26). – С. 19–26. – DOI 10.21685/2307-4205-2019-2-3.