

**УДК 336.14:352**

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ МЕТОДОВ

А. И. ВОВЧЕНКО
В. А. ЛОМАЗОВ

*Белгородская
государственная
сельскохозяйственная
академия*

e-mail:
alexander.vovchenko@gmail.com
vlomazov@yandex.ru

Рассмотрена информационная модель транспортного парка железнодорожной транспортной системы. Предложены алгоритмы анализа состояния транспортного парка на основе эволюционных алгоритмов.

Ключевые слова: транспортные системы, информационные модели, классификация, кластеризация, эволюционные методы, сети иммунные, генетические алгоритмы.

В настоящее время уровень сложности техногенной среды, превысил тот предельный порог, при котором система может находиться под полным контролем специалистов по её обслуживанию. Техническая система приобретает свойства и качества, подобные свойствам живого существа, и создается впечатление, что она начинает развиваться по своим планам и законам, недоступным человеческой логике. Вопросы обеспечения надежности всех видов технических объектов (контрольно-измерительных приборов, механизмов, транспортных средств и т.д.) становятся всё более актуальными.

Особые требования по обеспечению надежной работы предъявляются к объектам транспортной системы [1], в частности, к системам железнодорожного (рельсового) транспорта. Отказы отдельных компонентов системы (например, неисправности поездов в пути следования) вызывают задержки, нарушение графика движения, сбой ритма перевозок, тем самым приводя к значительным потерям пропускной способности и создавая угрозу безопасности движения других поездов, т.е. приводят к нарушению эффективного (а, главное, безопасного) функционирования транспортной системы в целом.

Целью настоящей работы является обоснование и разработка инструментальных средств оценки и прогнозирования в составе автоматизированных систем научных исследований транспортных систем (АСНИ ТС) [2], позволяющих осуществлять слежение и управление техническим состоянием транспортного парка (как одной из основных подсистем транспортной системы), предупреждать отказы и планировать мероприятия по восстановлению работоспособности отдельных подсистем (поездов, локомотивов, вагонов) и элементов (колесных пар и др. механизмов).

Актуальность направления, основанного на использовании подходов и методов искусственного интеллекта (в частности, эволюционных методов), связана с невозможностью применения традиционных методов исследования транспортных систем [3] в силу таких особенностей как:

- сложность описания компонентов (элементов и подсистем) и связей между ними;
- большое количество внешних факторов, влияющих на работоспособность как системы в целом, так и отдельных её элементов, что приводит к высокой степени неопределённости работы системы;
- повышенные требования, предъявляемые к надежности;
- значительные затраты (как временные, так и финансовые), связанные с поддержанием работоспособности систем.

Высокий уровень автоматизации транспортных систем позволяет получать большой объем статистических данных, на основе которых (при использовании АСНИ ТС) можно сделать выводы о перспективах дальнейшей эксплуатации объекта, то есть составить прогноз износа и спланировать регламентные ремонтные работы. Это позволит значительно улучшить использование подвижного состава и существенно сократить затраты на его эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт.

Описание подсистемы транспортного парка в составе транспортной системы

Общая структура железнодорожной транспортной системы может быть представлена в виде совокупности взаимодействующих друг с другом между собой подсистем:

$$TrSys = \langle MovSys, FixedSys, RepairSys \rangle, \tag{1}$$

где MovSys – подсистема транспортного парка, FixedSys – подсистема рельсовой инфраструктуры, RepairSys – подсистема обслуживания и ремонта (рис. 1). Наряду с разделением подвижной и неподвижной компонент транспортной системы, выделение подсистемы обслуживания является естественным, поскольку обеспечение эксплуатации первых двух компонент представляет собой относительно самостоятельную задачу, для решения которой на транспортных предприятиях, как правило, создаются отдельные структурные подразделения.



Рис. 1. Общая структура железнодорожной транспортной системы TrSys

Хотя основным объектом исследования в рамках настоящей работы является подсистема транспортного парка MovSys, однако системный подход предусматривает рассмотрение включающую ее более общей транспортной системы. Оценка функционирования подсистемы MovSys не может быть проведена без учета взаимосвязи с другими подсистемами TrSys и, в частности, с подсистемой RepairSys, которая должна обеспечить экономичное и безопасное функционирование MovSys.

Транспортный парк MovSys включает в себя отдельные подсистемы (например, локомотивы и вагоны различного типа)

$$MovSys = \langle MovSysSubsys_1, MovSysSubsys_2, \dots, MovSysSubsys_n \rangle. \tag{2}$$

Подсистемы включают в себя такие элементы, как колесная пара, кузов, тормозное устройство и т.д. В общем случае элементный состав подсистемы MovSysSubsys_i имеет вид

$$MovSysSubsys_i = \langle MovSysSubsys_i_El_1, \dots, MovSysSubsys_i_El_k \rangle. \tag{3}$$

Особенностью подсистем Транспортного парка является возможная однотипность элементов различных подсистем, что схематически представлено на рис.2.

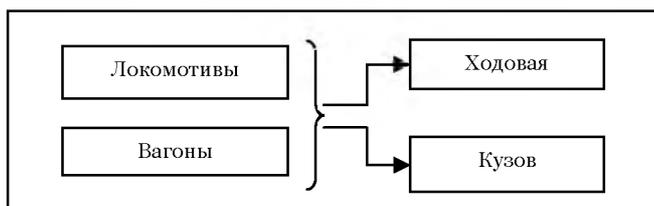


Рис. 2. Схема подсистемы железнодорожного транспортного парка MovSys



Состояние подсистемы железнодорожного транспортного парка MovSys представляет собой совокупность состояний своих подсистем

$$\text{StMovSys} = \langle \text{StMovSysSubsys}_1, \dots, \text{StMovSysSubsys}_n \rangle \quad (4)$$

состояния которых в свою очередь являются совокупностями состояний своих элементов

$$\text{StMovSysSubsys}_i = \langle \text{StMovSysSubsys}_i_El_1, \dots, \text{StMovSysSubsys}_i_El_k \rangle. \quad (5)$$

Состояние отдельного элемента MovSysSubsys_i_El_j определяется набором значений свойств (индикаторов)

$$\text{StMovSysSubsys}_i_El_j = \langle \text{MovSysSubsys}_i_El_j_Ind_1, \text{MovSysSubsys}_i_El_j_Ind_2, \dots, \text{MovSysSubsys}_i_El_j_Ind_m \rangle \quad (6)$$

В дальнейшем будем полагать бинарность индикаторов, т.е. $Ind = \{0,1\}$, где значение 0 соответствует отсутствию некоторого свойства, 1 – наличию этого свойства. Несмотря на кажущуюся упрощенность принятой модели, она отражает возможность измерения свойств элементов не только в слабых (номинальной и порядковой), но и в сильных (интервальной и относительной) шкалах. В последнем случае под свойством понимается принадлежность значения показателя некоторому числовому интервалу.

Иерархическое описание состояния подсистемы железнодорожного транспортного парка MovSys (4)-(6) удобно представить в линейном виде:

$$\text{StMovSys} = \langle \text{Ind}_1, \text{Ind}_2, \dots, \text{Ind}_N \rangle, \quad (7)$$

где интегральные индикаторы системы $\text{Ind}_1, \text{Ind}_2, \dots, \text{Ind}_N$ вычисляются с помощью иерархической процедуры (например, метода анализа иерархий) на основе показателей отдельных элементов и весовых коэффициентов этих показателей, элементов и подсистем, полученных методами экспертного оценивания (например, методом командного ранжирования или методом парных сравнений).

Методы и алгоритмы анализа состояния подсистемы транспортного парка

В рамках настоящей работы под анализом состояния объекта будем понимать задачу группировки (классификации или кластеризации) возможных характерных состояний объекта и последующее отнесение исследуемого состояния к определённой группе состояний, то есть задачу распознавания образов. Общая схема исследования имеет вид, приведённый на рис. 3.



Рис. 3. Схема анализа состояний

Оценка состояния подсистемы транспортного парка MovSys может быть проведена только по критериям, сформулированным вне этой подсистемы. Например, с позиций подсистемы обслуживания и ремонта RepairSys критериями оценки являются сложность и срочность ремонта, а также затраты, связанные с его выполнением. Таким образом, возможные состояния подсистемы MovSys могут быть разбиты на группы в соответствии с типом требуемого ремонта (например, срочный или плановый, текущий или капитальный и т.д.).

Анализируя конкретное состояние StMovSys (в соответствии со схемой исследования), необходимо определить к какому одному из подмножеств RepairState₁, Re-

pairState_2,..., RepairState_M множества состояний RepairStates оно относится. При этом следует предварительно провести разбиение множества состояний на подмножества. Возможно два подхода к разбиению: классификация и кластеризация.

В рамках классификации предлагается выделить классифицирующий шаблон $ClassSh = \langle ClassSh_1, ClassSh_2, \dots, ClassSh_K \rangle$ (8) компоненты которого $ClassSh_i$ характеризуют свойства состояния подсистемы MovSys с точки зрения ремонта (обслуживания) и могут принимать значения $ClassSh_i = \{0, 1, *\}$, где значение 0 соответствует отсутствию свойства, 1 – наличию свойства, а свободное значение * допускает как наличие, так и отсутствие свойства. Классифицирующий шаблон полностью определяет класс, объединяющий состояния с одинаковыми (соответствующими шаблону) значениями несвободных индикаторов.

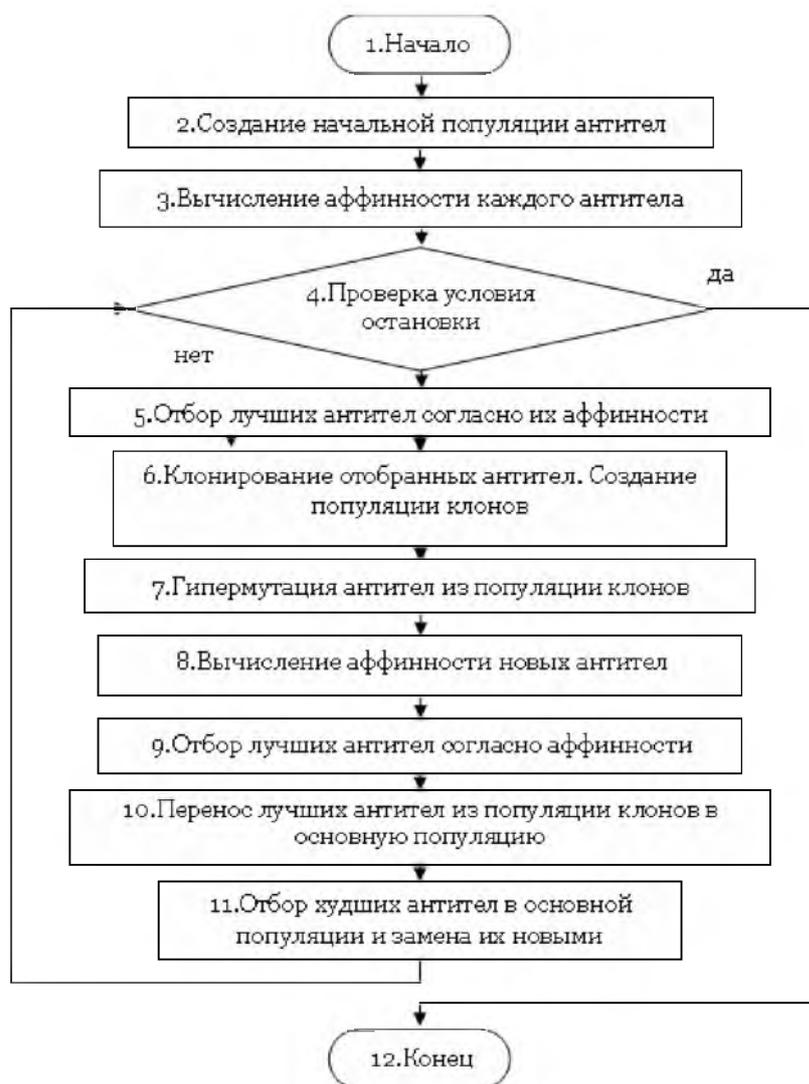


Рис. 4. Блок-схема алгоритма клонального отбора

В рамках кластеризации выделяются кластеры состояния из близких (по расстоянию Хэмминга) состояний. При этом предполагается справедливость гипотез компактности и сепарабельности.

Таким образом, центральным вопросом при анализе состояния подсистемы железнодорожного транспортного парка MovSys является определение индикаторов



состояния. На рис.4 приведена блок-схема алгоритма (построенного в соответствии с [4]) клональной селекции, применяемого для решения этой задачи.

На этапе 1 и 2 осуществляется кодирование антител, (характеристик объекта), представляющие собой строки фиксированной длины, состоящие из символов, характеризующих математическую зависимость между параметрами эксплуатации изделия. Далее на этапе 3 вычисляется аффинность каждого антитела. Данная величина отражает близость состояния антитела к оптимальному состоянию агрегата. Условием останова алгоритма на этапе 4 является остановка по достижению определенного числа поколений.

Отбор антител с наивысшим показателем аффинности осуществляется на этапе 5. Процедура клонирования и гипермутации на этапах 6 и 7 случайно заменяет один или несколько символов в строке антитела. На этапах 8 и 10 происходит отбор и перенос антител с наивысшим показателем аффинности в основную популяцию и на этапе 11 антитела с наименьшим показателем аффинности убираются из основной популяции.

Задача распознавания образов в случае классификации решается проверкой на соответствие шаблону, а в случае кластеризации – путём нахождения минимального расстояния между исследуемым состоянием и кластерами, для чего, в силу большой размерности задачи, целесообразно использовать генетические алгоритмы.

Результаты вычислительных экспериментов по определению индикаторов состояний методом клональной селекции показали его преимущество по сравнению с методом отрицательного отбора на данных по эксплуатации колесных пар железнодорожного подвижного состава [2].

Литература

1. Энциклопедия "Машиностроение". Том IV- 3. "Надежность машин", "Машиностроение", 2001, 592 стр.
2. Вовченко, А.И., Ломазов, В.А. Автоматизация оценки и прогнозирования технического состояния железнодорожных колесных пар [Текст] // Информационные системы и технологии. - Орел: ОрелГТУ, 2010, №4 с. 95-100
3. Вовченко, А.И. Применение информационных технологий при проведении исследований технического состояния железнодорожного подвижного состава / А.И. Вовченко [Текст] //Материалы III Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве».- Орел: ОрелГТУ, 2008, с.33-36.
4. Д. Дасгупта, Искусственные иммунные системы и их применение.М.: ФизМатЛит 2006, 344 с.

MODELING AND ANALYSIS OF TRANSPORT SYSTEMS BASED ON EVOLUTION METHODS

A. I. VOVCHENKO
V. A. LOMAZOV

*Belgorod State Agricultural
Academy*

e-mail:
alexander.vovchenko@gmail.com;
vlomazov@yandex.ru.

The information model of transport park of railway transport system is considered. Analysis algorithms of a condition of transport park on the basis of evolutionary algorithms are suggested.

Key words: transport systems, information models, classification, clustering, evolution methods, immune networks, genetic algorithms.