

## АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ СКАТЫВАЮЩИХСЯ ВАГОНОВ НА СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКЕ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Н. К. МОДИН, В. В. ВОЛЫНЕЦ

Белорусский государственный университет транспорта

Система автоматического регулирования скорости скатывающихся с горки отцепов (АРС) предусматривает использование в качестве исполнительных органов горочные вагонные замедлители (ГВЗ). Датчиками фактической скорости отцепа на тормозной позиции являются радиолокационные индикаторы скорости (РИС). Для осуществления качественного прицельного торможения средствами парковой тормозной позиции система должна располагать всеми необходимыми данными о тормозимом отцепе и состоянии исполнительных органов тормозной позиции (ТП). Эксплуатация систем АРС показала, что в реальных условиях получить исчерпывающий набор исходных данных не представляется возможным. В связи с этим поиск алгоритмических решений, на основе которых можно будет осуществлять эффективное управление скоростью скатывающихся отцепов в условиях неопределенной исходной информации, становится актуальной задачей в области исследований по повышению безопасности функционирования горочных устройств. В данной работе рассмотрены алгоритмы построения диаграммы интенсивности торможения отцепа при движении по ТП, алгоритм прогнозирования средней величины интенсивности торможения, а также алгоритм на базе теории нечетких множеств для проверки выдвигаемого прогноза.

Анализ движения отцепа по ТП показывает, что диаграмма зависимости интенсивности торможения от координаты отцепа может быть построена для любого вагона на основе данных о ГВЗ (длины замедлителей  $l_z$ , расстояние между замедлителями  $l_{МЗ}$ ) и данных о тормозимом вагоне (длины вагона  $l_{ac}$ , количества осей вагона  $n$ , внутренней базы вагона  $l_{вб}$ , длины тележки вагона  $l_{тел}$ ). В основе алгоритма лежит подход к вычислению числа осей отцепа  $z$ , одновременно находящихся на заторможенных ГВЗ, для любой точки  $x$  ТП. Основную последовательность действий данного алгоритма можно условно разделить на две части. Первая часть представляет собой набор операций по определению местоположения осей первой тележки вагона и проверке нахождения  $j$ -той оси тележки с относительной координатой  $l_x$  на заторможенном ГВЗ с помощью функции  $\varphi(x)$ . Логическая функция  $\varphi(x)$  принимает значение 1, если в координате  $x$  ТП расположен замедлитель, значение 0, если замедлителя в точке  $x$  нет. Вторая часть алгоритма предусматривает выполнение аналогичных действий для второй тележки вагона. Располагая данными об изменении параметра  $z$ , можно судить о величине интенсивности торможения в зависимости от координаты  $x$  и прогнозировать изменение этой величины на время  $\Delta t$ , достаточное для перевода ГВЗ из заторможенного состояния в расторможенное. На основе спрогнозированного значения интенсивности торможения вычисляется величина упреждения по скорости  $\Delta v$ , необходимая для учета инерционности тормозных средств.

Для выполнения прогноза величины интенсивности торможения устройство управления тормозной позицией в течение фиксированного интервала времени  $\Delta t_x$  ( $\Delta t_x \ll \Delta t$ ) производит определенный набор операций: измерение текущего значения скорости движения отцепа  $v$ , с помощью РИС и сохранение этого значения в оперативной памяти устройства; вычисление текущего значения интенсивности торможения  $a$ ; вычисление приращения координаты  $\Delta x$  и текущей координаты  $x$ ; прогнозирование среднего значения интенсивности торможения на основе вычисленных значений  $a$ ,  $v$ ,  $x$ ; вычисление упреждения по скорости для полученного значения интенсивности торможения; принятие решения.

С момента вступления первой тележки вагона на заторможенный ГВЗ до момента принятия решения о растормаживании замедлителей ТП в реальных условиях проходит от 3 до 30 с. За это время система управления может сформировать статистические данные о величине ошибки прогнозирования, на основе которых может быть идентифицирована одна из следующих ситуаций: 1) прогнозируемые значения величины  $a_{пр}$  достаточно хорошо согласуются со значениями интенсивности торможения, полученными косвенными методом в режиме реального времени  $a_{ф}$ ; 2) значения величины  $a_{пр}$  удовлетворительно согласуются со значениями, полученными при измерениях. Существует некоторая функциональная зависимость  $\xi(t) = a_{пр}(t) - a_{ф}(t)$ ; 3) прогнозируемые значения величины  $a_{пр}$  неудовлетворительно согласуются со значениями  $a_{ф}$ . При этом существует достаточно большое количество больших ошибок прогнозирования. Нечеткие критерии (достаточно хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно) определены в виде элементов нечеткого множества модели выбора стратегии управления.

Проанализировав сложившуюся ситуацию, система управления выбирает стратегию дальнейших действий. Если имеет место ситуация (1), то управление осуществляется в соответствии с основным алгоритмом. В том случае, если имеет место ситуация (2), то следует вводить поправочные коэффициенты для значений  $a_{пр}$ , ориентируясь при этом на функцию  $\xi(t)$ . Ситуация (3) свидетельствует о значительном рассогласовании прогнозируемых и фактических параметрах движения. Применение основного алгоритма становится неоправданным с точки зрения безопасности и качества функционирования ТП. Здесь необходимо предусмотреть возможность перехода на дополнительный (резервный) алгоритм управления ГВЗ.

Внедрение регулятора скорости на основе рассмотренных алгоритмов управления позволит уменьшить величину «окон» на путях сортировочного парка и вероятность превышения допустимой скорости соударения вагонов.

УДК 656.2.08:517

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Н. К. МОДИН, А. Н. КОНДРАТЕНКО, Л. С. ГРОМЬКО  
Белорусский государственный университет транспорта

Для анализа и оценки уровня безопасности ответственного технологического процесса (ОТП) используется универсальный методологический подход (УМП), основанный на концепции причинно-следственной связи событий. Основой УМП является модель развития нарушения безопасности функционирования (НБФ) ответственного технологического процесса, который состоит из пяти уровней: фактора (Ф), неблагоприятных причин (НП), опасных ситуаций (ОС), НБФ, техногенной чрезвычайной ситуации (ТЧС). Все эти уровни обобщенно называют неблагоприятными событиями (НС). В модели предусмотрены также превентивные меры – управляющие воздействия (УВ) как на этапе зарождения НС (УВ1), так и на переходах от одного уровня иерархии до другого (УВ2).

При этом принимается во внимание то, что концепция причинно-следственной связи событий и построенная на ее основе модель предусматривают возможность заранее выделить и описать конкретное конечное число НС и УВ для каждого ОТП путем детального его анализа на профессиональном уровне.

На основе модели строят деревья неблагоприятных событий (ДНС) для всех нарушений безопасности данного ОТП. Разработан математический аппарат для вычисления вероятностей появления НС на том или ином уровне иерархии. И если удастся определить вероятность появления конечного события НБФ (обозначим  $Q_{\text{НБФ}}$ ), то вероятность его неоявления (уровень безопасности ОТП) будет равен  $P = 1 - Q_{\text{НБФ}}$ . Для того чтобы рассчитать  $Q_{\text{НБФ}}$  по построенному ДНС, необходимо иметь исходную информацию о вероятностях появления первичных источников опасности (Ф) и УВ. Недостаточность достоверных статистических данных приводит к необходимости получения априорной информации на основе суждений, высказываемых специалистами-экспертами.

Однако в особо ответственных случаях целесообразно корректировать полученную априорную информацию. В докладе сделана попытка использовать для этой цели методы кластерного анализа.

*Кластерный анализ* – математическая процедура многомерного анализа, позволяющая на основе множества показателей, характеризующих ряд состояний объектов (образов), сгруппировать их в классы (*кластеры*) таким образом, чтобы объекты, входящие в один класс (образ), были более однородными, не сходными по сравнению с объектами, входящими в другие классы. На основе численно выраженных параметров объектов вычисляются расстояния между ними, которые могут выражаться как в евклидовой метрике (наиболее употребимой), так и в других метриках.

Обнаружение и диагностирование нарушений при кластерном анализе производят на основе идентификации некоторого образа – кластера – в пространстве нескольких переменных  $y_1, y_2, \dots, y_L$ , соответствующего определенному состоянию работоспособности  $h$ , по данным измерения этих переменных. Границы кластеров определяют на основе обработки априорных данных, полученных в различных и известных состояниях работоспособности.

Выделение кластеров отражает различие параметров или вида оператора  $\phi$  модели объекта при разных состояниях работоспособности, разброс значений  $y$  в одном состоянии работоспособности характеризует изменение возмущающих воздействий.

Чтобы охарактеризовать кластер по априорным, в том числе и экспериментальным данным, в простейшем случае оценивают параметры распределения математического ожидания  $m_i$ , среднего квадратического отклонения  $\sigma_i$  переменной  $y_i$ ,  $i = \overline{1, L}$ , соответствующие одному состоянию работоспособности, а следовательно, и кластеру, определяют его границу как границу области с назначенной доверительной вероятностью. Если переменные  $y_i$  независимы и распределены по нормальному закону, то главные оси кластеров расположены параллельно координатным осям.

Нарушения безопасности ОТП выявляют следующим образом. В момент времени  $t_j$  производят очередное  $j$ -е измерение вектора  $y[j] = (y_1[j], \dots, y_L[j])$ . На основе взаимного расположения точки  $y[j]$  кластеров в  $L$ -мерном пространстве определяют состояние работоспособности  $h[j]$  в момент времени  $t_j$ . Решение принимают на основе вычисления обобщенного расстояния от проверяемой точки  $y[j]$  до центров кластеров.

В докладе приводится пример использования кластерного анализа для решения вышеуказанной задачи.