

Ю. И. Буряк, канд. техн. наук, нач. подразделения, buryak@gosniias.ru,

А. А. Скрынников, канд. техн. наук, нач. сектора, a1260@mail.ru,

Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, Москва

Алгоритмы расчета зоны покрытия антенны радиочастотного ридера при определении местоположения высокоскоростного объекта¹

Предложен подход к решению задачи определения местоположения высокоскоростного объекта на основе использования комплекса средств радиочастотной идентификации, в котором ряд пассивных радиочастотных меток размещается по пути следования объекта, а радиочастотный ридер (считывающее устройство) устанавливается на самом объекте. Разработан алгоритм расчета такой зоны покрытия антенны ридера, которая в заданном диапазоне скоростей движения объекта гарантирует требуемое значение вероятности формирования ответного импульса от радиочастотной метки. Проведена оценка вероятности формирования ответного импульса с использованием математического аппарата статистического анализа. Приведены результаты расчетов зоны покрытия антенны в диапазоне допустимых скоростей движения объекта, а также сформированы рекомендации по выбору оптимального варианта, доказывающие применимость предложенного подхода.

Ключевые слова: радиочастотная идентификация, высокоскоростные транспортные средства, точность определения местоположения

Введение

Прослеживание состояния сложной технической продукции в процессах жизненного цикла сегодня является одной из самых актуальных задач повышения ее качественных характеристик (например, путем выявления контрафактной, фальсифицированной продукции, неаутентичных компонентов и пр.) и безопасности использования (например, движения). Наиболее эффективный метод получения элементов, характеризующих техническое состояние продукции, основанный на применении современных средств идентификации материальных объектов и их характеристик, в частности радиочастотной идентификации (ридеры, радиочастотные метки (РЧМ)), находит широкое применение в самых различных областях: в производственных процессах, логистике и на транспорте [1–5].

В основу метода положена стандартная организационно-технологическая схема применения средств радиочастотной идентификации, предполагающая установку радиочастотных ридеров на штатных позициях производственной линии, а РЧМ — непосредственно на объектах. Таким образом, при перемещении маркированного объ-

екта по траектории сложно-разветвленного процесса осуществляется определение как его технических характеристик, так и его местоположения.

Известная система автоматической идентификации (САИ) состояния подвижного состава "Пальма" [6] включает кодовый бортовой датчик и считывающую аппаратуру. Датчик хранит полную информацию о вагоне или локомотиве в закодированном виде: идентификационный номер, направление следования, дату последнего деповского ремонта, пробег, число единиц в составе. Объем памяти датчика — 128 бит. Аппаратура в масштабе реального времени регистрирует в АСУ железнодорожным транспортом факты прохождения оборудованного специальными метками подвижного состава через пикеты, установленные вдоль железнодорожных путей и оборудованные специальной аппаратурой считывания. Эффективность работы новой системы достигается за счет того, что человеческий фактор почти не задействован — информация передается автоматически из разных пунктов нахождения поезда. В рамках пилотного проекта финское транспортное агентство Liikennevirasto и компания Vilant [7] установили четыре ридера Vilant Railroad Reader в нескольких местах вдоль железнодорожных путей в районе городов Оулу и Мانتсала. Ридеры были смонтированы на мачтах, размещенных на расстоянии приблизительно 2,5 м (8,2 фута) от железнодорожного

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 15-08-04342а.

пути, чтобы они могли считывать уникальные идентификационные номера, закодированные в каждой РЧМ Ironside, прикрепленной к стенкам кузова проходящих вагонов. С помощью разработанного Vilant программного обеспечения Train Analyzer, хранящегося на резидентном сервере компании, каждый уникальный идентификационный номер увязывается с серийным номером вагона, а также с информацией об операторе, которому принадлежит вагон, и другими подробными данными. Посредством соотнесения идентификационного номера с временами считывания РЧМ предыдущим и текущим ридерами программный комплекс Vilant Train Analyzer рассчитывает скорость движения поездов. Таким образом, агентство может решать любые проблемы путем контакта с оператором.

Присущие данной схеме недостатки, прежде всего, необходимость обеспечения электропитания, средств передачи данных на перемещаемый объект, защиты от случайных/намеренных повреждений и восстановления работоспособности в случае его нарушения существенно ограничивают применимость такой схемы при построении больших территориально-распределенных транспортных систем, в частности железнодорожных.

В связи с этим рядом исследователей [8–10] предлагается модифицированная схема, включающая установку как минимум двух пассивных РЧМ на пути следования железнодорожного транспортного средства, а ридера — на самом транспортном средстве. При считывании РЧМ ридером определяется местоположение средства с последующей выработкой необходимых управленческих команд (например, торможение). В ряде случаев для повышения точности управления и безопасности движения радиочастотный ридер объединяется с дополнительными датчиками, например, измерения скорости перемещения, приема навигационных сигналов со спутников и пр.

В условиях наблюдаемых тенденций [11] по проработке концептов поездов, движущихся на скоростных и высокоскоростных магистралях и в замкнутом пространстве (туннелях), традиционное использование спутниковых радионавигационных технологий [12] становится проблематичным.

Поэтому решение задачи использования технологий радиочастотной идентификации для определения местоположения высокоскоростного поезда является актуальным.

Особенности применения технологии радиочастотной идентификации для определения местоположения высокоскоростного поезда

Технология радиочастотной идентификации предполагает следующую схему взаимодействия

ридера и РЧМ: антенна ридера излучает в окружающее пространство электромагнитный сигнал определенной мощности на установленной частоте в течение некоторого диапазона времени. РЧМ воспринимает энергию излучения, проводит необходимые преобразования и выдает ответный сигнал, который принимает антенна ридера. По результатам его обработки ридер идентифицирует РЧМ и сохраняет в своей памяти записанную в ней информацию. Если ридер перемещается относительно РЧМ, может возникнуть ситуация, при которой отсутствует возможность идентификации РЧМ, а именно: время нахождения РЧМ в поле действия ридера не позволяет собрать достаточное количество энергии его излучения для формирования ответного сигнала, и РЧМ формирует ответный сигнал уже после выхода из поля действия ридера.

В силу того что время попадания РЧМ в поле действия антенны ридера носит случайный характер, а время ее нахождения переменное, зона покрытия ридера должна иметь размер, гарантирующий формирование ответного импульса от РЧМ во всем диапазоне скоростей движения объекта и с заданным значением вероятности.

Таким образом, формулируется задача определения размера зоны покрытия ридера, гарантирующего формирование ответного импульса от РЧМ с заданным значением вероятности во всем диапазоне скоростей движения объекта.

Для решения данной задачи необходимо реализовать следующую последовательность действий:

- сформировать различные варианты нахождения РЧМ в поле действия антенны ридера;
- рассчитать вероятность формирования отклика РЧМ в интервале скоростей движения объекта.

Алгоритм расчета зоны покрытия антенны радиочастотного ридера, гарантирующей формирование ответного импульса от РЧМ с заданным значением вероятности

Рассмотрим объект, движущийся со скоростью v . На объекте установлена антенна, образующая на поверхности Земли зону покрытия длиной D . По пути следования установлена РЧМ (рис. 1).

Для обнаружения метки антенна периодически в течение времени t_r излучает серию из n импульсов, а затем в течение t_p ($t_p < t_r$) ожидает отклик РЧМ, после чего цикл длительностью $t_c = t_r + t_p$ повторяется (рис. 2).

РЧМ при попадании в зону покрытия антенны принимает зондирующие импульсы. Число принятых импульсов зависит от времени нахождения РЧМ в зоне покрытия, которое определяется скоростью v и длиной D зоны покрытия.

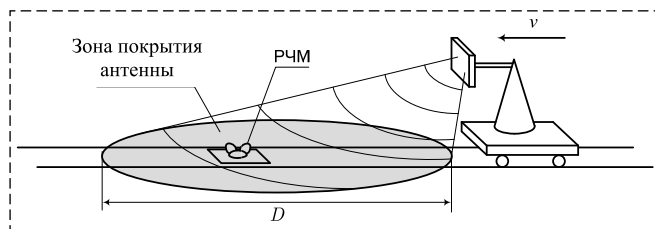


Рис. 1

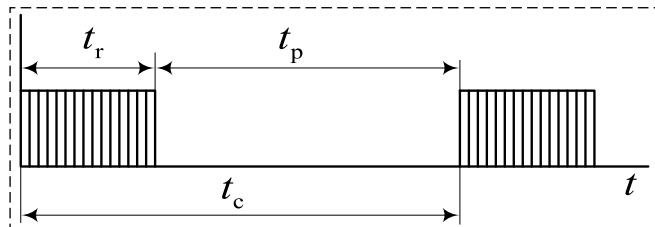


Рис. 2

При этом в силу влияния сложного переотражения радиоволн, изменения ориентации РЧМ при движении объекта каждый из импульсов серии принимается РЧМ с некоторой вероятностью. После приема зондирующих импульсов РЧМ формирует ответный импульс.

Время τ , в течение которого объект проходит путь, равный длине зоны покрытия, находится из соотношения

$$\tau = D/v. \quad (1)$$

Совместим начало временного интервала τ с моментом T_0 попадания РЧМ в зону покрытия антенны. Поскольку зондирование проводится с постоянной длительностью цикла t_c независимо от движения объекта, то момент времени T_0 будет величиной случайной, распределенной равномерно в интервале от 0 до t_c (рис. 3). Функция распределения случайной величины T_0 имеет вид

$$F_0(t_0) = \begin{cases} 0 & \text{при } t_0 < 0; \\ t_0/t_c & \text{при } t_0 \in (0, t_c); \\ 1 & \text{при } t_0 > t_c. \end{cases}$$

Чувствительность РЧМ определяется экспериментально. Так как длина перекрытия T_c временных интервалов t_r и τ будет случайной величиной, изменяющейся в пределах от 0 до t_r , то чувствительность представляется зависимостью вероятности появления отклика от длины перекрытия T_c .

Отклик — бинарная случайная величина Y , принимающая значения 0 и 1:

$$Y = \begin{cases} 0 & \text{при отсутствии отклика от РЧМ;} \\ 1 & \text{при наличии отклика от РЧМ.} \end{cases}$$

Характеристика чувствительности представляется функцией $P(Y=1) = F(\beta^T t_c)$, где $\beta = (\beta_1, \beta_2)$ — вектор параметров. Наиболее часто используют функцию стандартного нормального распределения, в этом случае модель принято называть пробит моделью, и функцию логистического распределения, тогда модель принято называть логит моделью [13].

В случае, когда скорость движения объекта относительно небольшая, интервал τ может накрыть (полностью или частично) несколько периодов зондирования, тогда вероятность получения отклика от РЧМ будет определяться как вероятность получения отклика от хотя бы одной серии зондирующих импульсов, а вероятность получения отклика от конкретной серии определяется по зависимости $P(Y=1)$. Например, если интервал τ накрывает две серии зондирующих импульсов с интервалами перекрытия $T_c^{(1)}$ и $T_c^{(2)}$ соответственно (рис. 4), то вероятность получения отклика от первой серии равна $p_1 = P(T_c^{(1)})$, а от второй — $p_2 = P(T_c^{(2)})$. Тогда вероятность получения хотя бы одного отклика будет равна $p_s = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2)$.

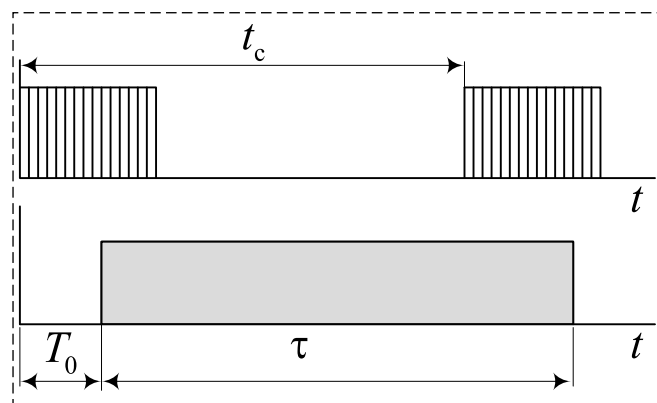


Рис. 3

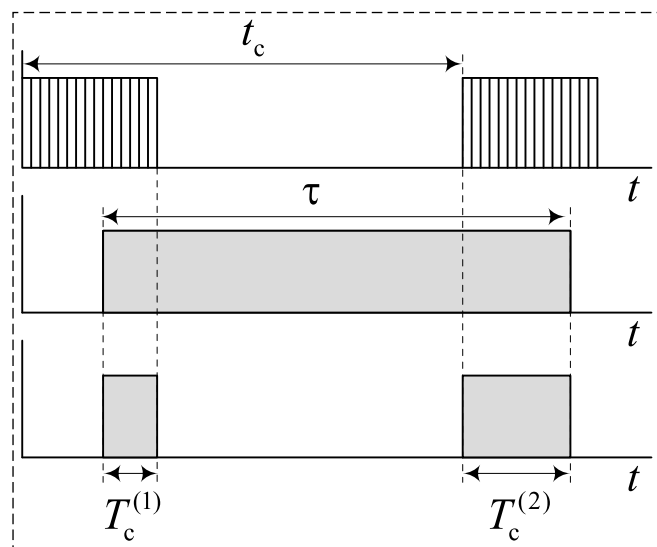


Рис. 4

При увеличении скорости v уменьшается длительность интервала τ . При $\tau \leq t_p$ перекрытой может быть не более одной серии зондирующих импульсов. Поэтому с увеличением скорости снижается вероятность формирования РЧМ ответного импульса.

В связи с этим возникает задача обоснования требуемой длины покрытия D , при которой в заданном диапазоне скоростей движения $v < v_{\max}$ вероятность формирования РЧМ ответного импульса не была бы меньше заданной величины.

Рассмотрим решение этой задачи при достаточно высокой скорости движения, определяемой из условия $\tau \leq t_c + t_r$. В этом случае возможно получение отклика не более чем от двух серий зондирующих импульсов.

Найдем закон распределения случайных величин $T_c^{(1)}$ и $T_c^{(2)}$ — длин перекрытия первой и второй серий импульсов соответственно.

Случайная величина $T_c^{(1)}$ принимает значения

$$T_c^{(1)} = \begin{cases} t_r - T_0 & \text{при } T_0 < t_r; \\ 0 & \text{при } T_0 > t_r. \end{cases}$$

Таким образом, случайная величина $T_c^{(1)}$ — смешанная. При $T_c^{(1)} = 0$ функция распределения $F(t_c^{(1)})$ имеет разрыв на величину $P(T_c^{(1)} = 0)$, а на участке $(0, t_r)$ функция распределения $F(t_c^{(1)})$ непрерывна.

Вероятность того, что ширина первого интервала перекрытия равна нулю, определяется выражением

$$P(T_c^{(1)} = 0) = P(T_0 > t_r) = \frac{t_p}{t_c}.$$

Случайные величины $T_c^{(1)}$ и $T_c^{(2)}$ — функционально связанные, так как

$$T_c^{(2)} = \begin{cases} 0 & \text{при } T_0 + \tau < t_c; \\ T_0 + \tau - t_c & \text{при } t_c < T_0 + \tau < t_c + t_r; \\ t_r & \text{при } T_0 + \tau > t_c + t_r. \end{cases} \quad (2)$$

Случайная величина $T_c^{(2)}$ также смешанная. Вероятности $P(T_c^{(2)} = 0)$ и $P(T_c^{(2)} = t_r)$ равны

$$P(T_c^{(2)} = 0) = 1 - \frac{\tau}{t_c} \text{ при } \tau < t_c;$$

$$P(T_c^{(2)} = t_r) = \frac{\tau - t_r}{t_c} \text{ при } \tau < t_r.$$

Расчет вероятности получения отклика РЧМ с заданным уровнем надежности в интервале движения поезда

Рассмотрим в качестве примера решение задачи при следующих условиях: $t_r = 30$ мс, $t_p = 100$ мс; зависимость $P(t_c)$

вероятности получения отклика РЧМ от длины перекрытия серии импульсов имеет вид логистической функции

$$P(t_c) = \frac{1}{1 + e^{-(t_c - a)/k}},$$

где $a = 23,0$ мс, $k = 1,81$ мс. Зависимость $P(t_c)$ приведена на рис. 5.

Пусть длина зоны покрытия $D = 10$ м. Зададимся требуемым уровнем надежности, например, при скорости движения до 125 м/с с вероятностью не ниже 0,95 частота появления хотя бы одного отклика должна быть не менее 0,9. При любом $\tau > t_r$ функция распределения $F(t_c^{(1)})$ будет иметь вид (рис. 6)

$$F(t_c^{(1)}) = \begin{cases} 0 & \text{при } t_c^{(1)} < 0; \\ 0,7 & \text{при } t_c^{(1)} = 0; \\ 0,7 + t_c^{(1)}/30 & \text{при } 0 < t_c^{(1)} \leq 30; \\ 1 & \text{при } t_c^{(1)} > 30. \end{cases}$$

Функция распределения $F(t_c^{(2)})$ зависит от τ (так как $T_c^{(2)}$ в соответствии с (2) зависит от τ), а время τ , в свою очередь, определяется скоростью v (см. (1)). Рис. 7 иллюстрирует зависимость поведения функции распределения $F(t_c^{(2)})$ при различных значениях скорости v .

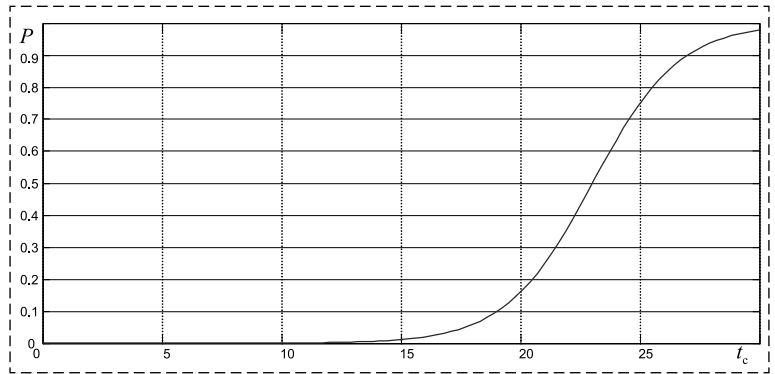


Рис. 5

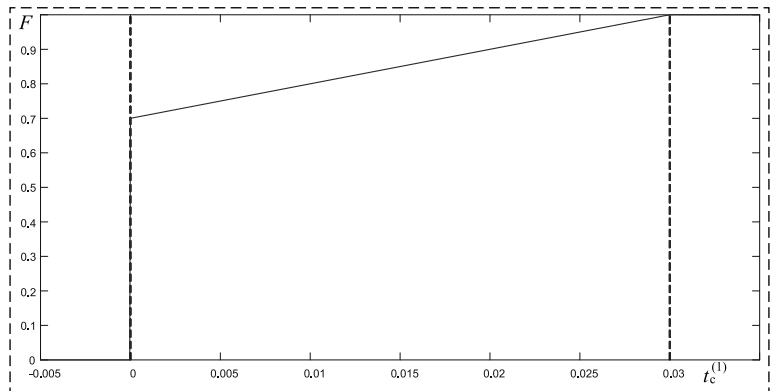


Рис. 6

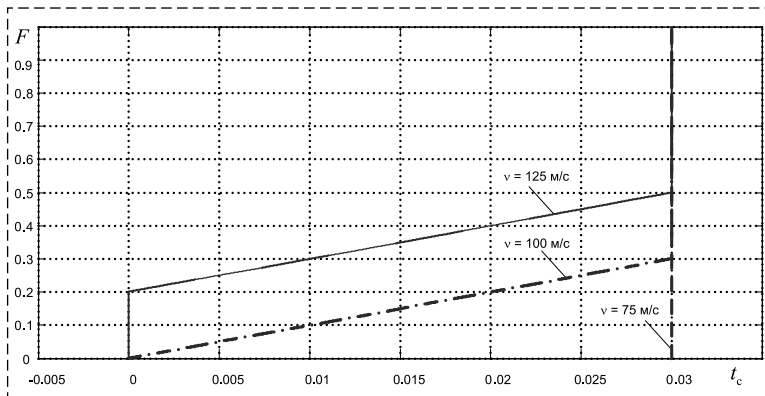


Рис. 7

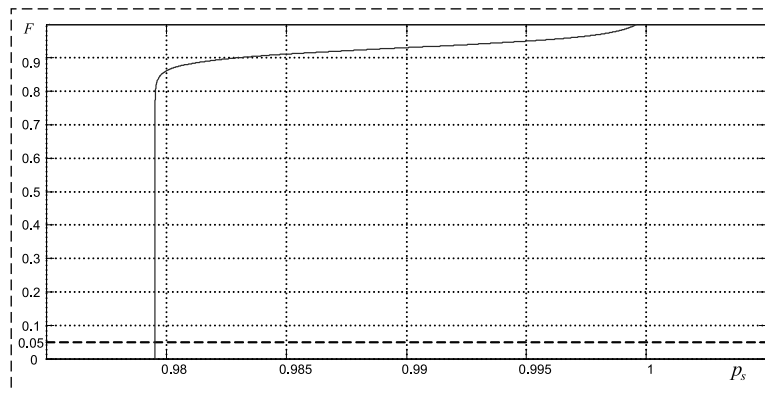


Рис. 8

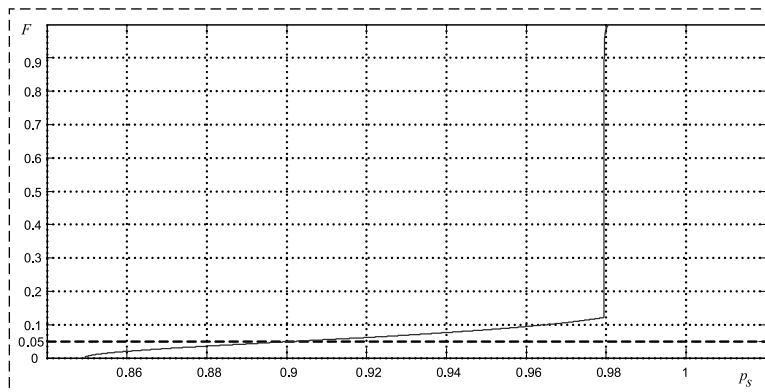


Рис. 9

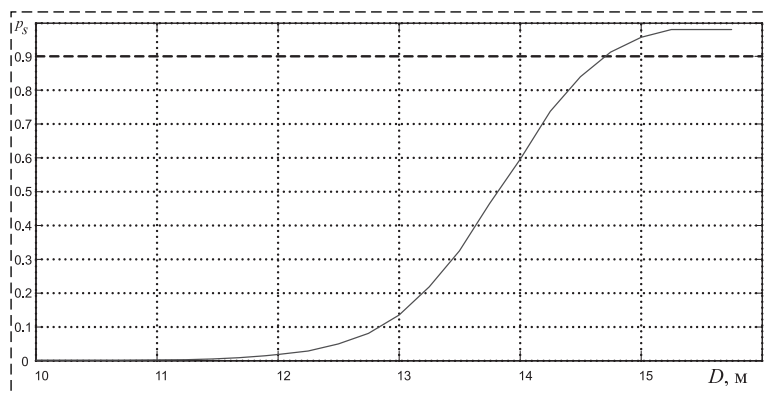


Рис. 10

Зная $F(t_c^{(1)})$ и $F(t_c^{(2)})$, можно найти законы распределения частоты получения отклика на соответствующую серию импульсов и, следовательно, закон распределения частоты получения хотя бы одного отклика.

Так, при $\tau = t_c + t_r = 130$ мс возможно перекрытие не более двух серий зондирующих импульсов. Это соответствует скорости 76,92 м/с (276,92 км/ч). В этом случае закон распределения частоты $F(p_s)$ будет иметь вид, представленный на рис. 8. Как видно из рис. 8, с надежностью 0,95 (см. квантиль уровня 0,05) частота получения хотя бы одного отклика будет равна 0,9795.

При увеличении скорости объекта v до 85 м/с значение частоты получения хотя бы одного отклика с надежностью 0,95 снижается до 0,9012 (рис. 9). Таким образом, длина зоны покрытия $D = 10$ м не обеспечивает требуемую надежность при скоростях более 85 м/с.

Аналогичным образом можно построить зависимость квантили уровня 0,05 частоты получения хотя бы одного отклика при различных значениях скорости v от длины зоны покрытия D .

Для максимальной заданной скорости $v = 125$ м/с эта зависимость будет иметь вид, представленный на рис. 10. Как видно из рис. 10, для обеспечения длины зоны покрытия D при заданных значениях t_r , t_c должна быть не меньше 14,7 м.

Очевидно, что с изменением значения максимальной скорости движения изменится и требуемое значение длины D зоны покрытия. На рис. 11 представлены результаты расчетов при варьировании значения максимальной скорости от 80 до 150 м/с.

Таким образом, разработанные алгоритмы позволяют рассчитать требуемое значение длины D зоны покрытия антенны ридера при задании максимальной скорости движения объекта и уровня надежности получения отклика антенны.

Заключение

Предложен подход к решению одной из задач повышения эффективности управления движением высокоскоростного транспорта за счет комплексного использования средств радиочастотной идентификации для определения его

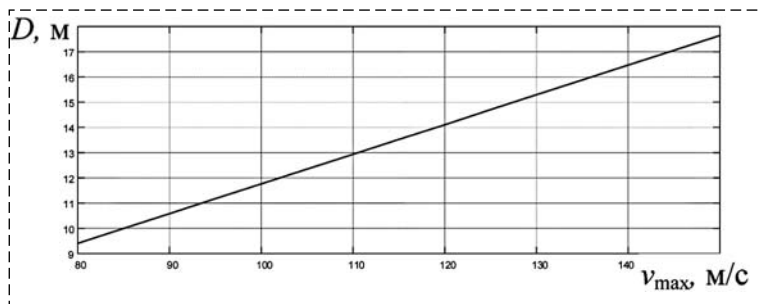


Рис. 11

местоположения. Разработан алгоритм расчета зоны покрытия антенны ридера, размер которой в установленном диапазоне скоростей движения объекта гарантирует получение ответного отклика от каждой РИМ, расположенной на пути его следования. Проведена оценка вероятности формирования ответного отклика от РИМ с использованием математического аппарата статистического анализа. Приведены результаты расчетов зоны покрытия антенны в диапазоне допустимых скоростей движения объекта и при заданном уровне надежности получения ответного отклика, а также сформированы рекомендации по выбору заданного варианта, доказывающие применимость предложенного подхода.

Список литературы

1. Буряк Ю. И. Обеспечение безопасности поставок и эксплуатации промышленной продукции за счет организации непрерывного мониторинга их технических характеристик // Автоматизация в промышленности. 2009. № 12. С. 7—11.
2. Легкий Н. М. Активная радиочастотная идентификация в системах позиционирования подвижных объектов // Наука и техника транспорта. 2010. № 2. С. 41—45.

3. Легкий Н. М. Управление перевозочным процессом на основе информации о местоположении транспортного средства // Наука и техника транспорта. 2009. № 3. С. 38—40.

4. Буряк Ю. И., Амирханян В. Г., Калинин В. Л. Разработка программно-технологической платформы для обеспечения контроля за состоянием сложных объектов при построении территориально-распределенных автоматизированных информационных систем производственного назначения // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 8. С. 23—28.

5. Буряк Ю. И., Скряников А. А. Разработка модели классификатора движущихся в составе группы объектов на базе использования средств радиочастотной идентификации // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 3. С. 42—48.

6. Федоров В. Г. Система радиочастотной идентификации САИД "Пальма" на железнодорожном транспорте // Автоматизация в промышленности. 2006. № 3. С. 53—54.

7. Финское транспортное агентство использует RFID для отслеживания состояния транспортных вагонов. URL: <http://www.idexpert.ru/reviews/4318/> (дата обращения 06.06.2017).

8. Способ и система прицельной остановки железнодорожных транспортных средств: пат. 2397094 Рос. Федерация: МПК⁵¹ B62L 25/00 / Н. М. Легкий — № 2009109737/11; заявл. 18.03.2009; опубл. 20.08.2010. Бюл. № 23.

9. Система для определения местонахождения поездов с проверкой в режиме реального времени достоверности оценки положения: пат. 2584957 Рос. Федерация: МПК⁵¹ B62L 25/02 / А. Сайто, П. Беллофьоре, А. Болле. — № 2013105692/11; заявл. 12.07.2011; опубл. 20.05.2016. Бюл. № 14.

10. Способ и система радиочастотной идентификации железнодорожного транспорта: пат. 2499714 Рос. Федерация: МПК⁵¹ B62L 25/02 / М. Д. Рабинович и др. — № 2012107106/11; заявл. 27.02.2012; опубл. 27.11.2013. Бюл. № 33.

11. URL: <https://hyperloop-one.com/#our-story/> (дата обращения 06.06.2017).

12. Легкий Н. М., Линьков В. И., Охинченко А. П. Использование спутниковых радионавигационных технологий для повышения безопасности движения поездов на скоростных и высокоскоростных магистралях // Научные технологии. 2010. № 8. С. 20—24.

13. Буре В. М., Париллина Е. М. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник. СПб.: Издательство "Лань", 2013. 416 с.

Algorithms for Calculating the Coverage Area of the Radio Frequency Reader Antenna in Determining the Location of a High-Speed Object

Yu. I. Buryak, buryak@gosniias.ru, A. A. Skrynnikov, a1260@mail.ru,

The State Research Institute of Aviation Systems, Moscow, 125319, Russian Federation

Corresponding author: Buryak Yuri I., Ph. D., Head of Unit, The State Research Institute of Aviation Systems, Moscow, 125319, Russian Federation, e-mail: buryak@gosniias.ru

Accepted on August 16, 2017

The analysis of modern systems of automatic identification of a moving objects condition with use of means of radiofrequency identification is carried out. The requirements to the system for automatic identification of high-speed objects are formulated. An approach to solving the problem of locating a high-speed object based on the use of a complex of radio frequency identification means is proposed, in which a number of passive radio frequency tags are placed along the path of the object, and a radio frequency reader is installed on the object itself. The probabilistic model of the response formation is considered. Based on the analysis of the relative location of the time interval during which the RF tag is in the

coverage zone of the antenna and the radiation intervals of the antenna bundles of the probing pulses, the distribution law of the random variables corresponding to the overlapping time of the first and second bursts of pulses is constructed. The sensitivity of the RF tag (the probability of forming a response of RF tag from one bundle of probing pulses depending on the width of the packet) is given in the form of a logistic function with parameters determined experimentally. It is shown that at high speeds of the object with a small width of the coverage zone of the antenna, the appearance of the response of the RF tag is unlikely. The problem of justifying the required width of the antenna coverage zone is formulated, which ensures the formation of a response of the RF tag with a probability not less than a given value. The solution of the problem is illustrated for a complex of radio frequency identification means with known sensitivity parameters of the RF tag and with a required duration of probing and a radiation cycle. For a given values of maximum speed of motion and the required probability of occurrence of at least one response, laws of distribution of mixed random variables — the time of overlapping of the first and second bursts of impulses for different speeds of the object's motion are constructed, which allows us, through statistical modeling, to find the empirical distribution function of the frequency of occurrence of at least one RF tag response. For a given level of reliability, it is possible to construct a quantiles dependence of the required level of the random frequency of obtaining at least one response for different values of speed and the length of the coverage zone, which in turn makes it possible to justify the required width of the coverage zone of the transmitting antenna of the automatic identification system.

Keywords: radio frequency identification, high-speed vehicles, positioning accuracy

Acknowledgements: This work was supported by RFBR, project number 15-08-04342a.

For citation:

Buryak Yu. I., Buryak Yu. I. Algorithms for Calculating the Coverage Area of the Radio Frequency Reader Antenna in Determining the Location of a High-Speed Object, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2018, vol. 19, no. 4, pp. 266—272.

DOI: 10.17587/mau.19.266-272

References

1. **Buryak Yu. I.** Obespechenie bezopasnosti postavok i ekspluatatsii promyshlennoi produktsii za schet organizatsii nepreryvnogo monitoringa ikh tekhnicheskikh kharakteristik (Ensuring security of supply and exploitation of industrial products through the organization of continuous monitoring of their technical performances), *Avtomatizatsiya v Promyshlennosti*, 2009, no. 12, pp. 7—11 (in Russian).
2. **Legkii N. M.** Aktivnaya radiochastotnaya identifikatsiya v sistemakh pozitsionirovaniya podvizhnykh ob"ektov (Active radio-frequency identification in movable object positioning systems/ Science and technology of transport), *Nauka i Tekhnika Transporta*, 2010, no. 2, pp. 41—45 (in Russian).
3. **Legkii N. M.** Aktivnaya radiochastotnaya identifikatsiya v sistemakh pozitsionirovaniya podvizhnykh ob"ektov (Control of the transportation process on the basis of information on the location of the vehicle), *Nauka i Tekhnika Transporta*, 2010, no. 2, pp. 41—45 (in Russian).
4. **Buryak Yu. I., Amirkhanyan V. G., Kalinin V. L.** Razrabotka programmno-tekhnologicheskoi platformy dlya obespecheniya kontrolya za sostoyaniem slozhnykh ob"ektov pri postroenii territorial'no-raspredeleennykh avtomatizirovannykh informatsionnykh sistem proizvodstvennogo naznacheniya (Development of a software and technology platform for monitoring the status of complex objects in the construction of geographically distributed automated information systems for industrial purposes), *Vestnik Komp'yuternykh I Informatsionnykh Tekhnologii*, 2012, no. 8, pp. 23—28 (in Russian).
5. **Buryak Yu. I., Skrynnikov A. A.** Razrabotka modeli klassifikatora dvizhushchikhsya v sostave gruppy ob"ektov na baze ispol'zovaniya sredstv radiochastotnoi identifikatsii (Development of the model of the classifier moving in the group of objects based on the use of radio frequency identification), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2014, no. 3, pp. 42—48 (in Russian).
6. **Fedorov V. G.** Sistema radiochastotnoi identifikatsii SAID "Pal'ma" na zheleznodorozhnom transporte (Radio-frequency identification system SAID "Palma" in railway transport), *Avtomatizatsiya v Promyshlennosti*, 2006, no. 3, pp. 53—54 (in Russian).
7. **Finskoje transportnoe agentstvo ispol'zuet RFID dlya ot-slezhivaniya sostoyaniya transportnykh vagonov** (The Finnish transport agency uses RFID to track the state of transport wagons), available at: <http://www.idexpert.ru/reviews/4318/> (date of access 06.06.2017).
8. **Sposob i sistema pritsel'noi ostanovki zheleznodorozhnykh transportnykh sredstv**: pat. 2397094 Ros. Federatsiya: MPK51 B62L 25/00 / N. M. Legkii — № 2009109737/11; yayavl. 18.03.2009; opubl. 20.08.2010 Byul. № 23 (Method and system of sighting of railway vehicles: Pat. 2397094 Russian Federation: IPC⁵¹ B62L 25/00 / N. M. Legkii — № 2009109737 / 11; Claimed. 18.03.2009; publ. 08/20/2010 Bul. № 23) (in Russian).
9. **Sistema dlya opredeleniya mestonakhozhdeniya poezdov s proverkoj v rezhime real'nogo vremeni dostovernosti otsenki polozheniya**: pat. 2584957 Ros. Federatsiya: MPK51 B62L 25/02 / A. Saitto, P. Bellofore, A. Bolle — № 2013105692/11; yayavl. 12.07.2011; opubl. 20.05.2016 Byul. № 14. (The system for locating trains with a real-time check of the reliability of the position estimate: Pat. 2584957 Russian Federation: IPC⁵¹ B62L 25/02 / A. Siteo, P. Bellofiore, A. Bolle — No. 2013105692/11; Claimed. 12/07/2011; publ. 05/20/2016 Bul. 14) (in Russian).
10. **Sposob i sistema radiochastotnoi identifikatsii zheleznodorozhnogo transporta**: pat. 2499714 Ros. Federatsiya: MPK51 B62L 25/02 / M. D. Rabinovich i dr. — № 2012107106/11; yayavl. 27.02.2012; opubl. 27.11.2013 Byul. № 33. (Method and system of radio frequency identification of railway transport: Pat. 2499714 Russian Federation: IPC⁵¹ B62L 25/02 / M. D. Rabinovich and others — № 2012107106/11; Claimed. 27.02.2012; publ. 11/27/2013 Bul. 33) (in Russian).
11. Available at: <https://hyperloop-one.com/#our-story/> (date of access 06.06.2017).
12. **Legkii N. M., Lin'kov V. I., Okhinchenko A. P.** Ispol'zovanie sputnikovyykh radionavigatsionnykh tekhnologii dlya povysheniya bezopasnosti dvizheniya poezdov na skorostnykh i vysokoskorostnykh magistralyakh (The use of satellite radio navigation technology to improve the safety of train traffic on high-speed and super high-speed highways), *Naukoemkie Tekhnologii*, 2010, no. 8, pp. 20—24 (in Russian).
13. **Bure V. M., Parilina E. M.** Teoriya veroyatnostei i matematicheskaya statistika (Theory of Probability and Mathematical Statistics), SPb., Lan', 2013, 416 p. (in Russian).