

УДК 625.042

**СИСТЕМА ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ  
НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ НА БАЗЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ****В.В. Алексеев, В.С. Коновалова, А.А. Минина**

Предложена система предотвращения чрезвычайных ситуаций на основе геоинформационных технологий, которая позволяет оценивать влияние на безопасность движения дефектов железнодорожного полотна, техногенных объектов (расположенные вблизи исследуемого участка железной дороги фабрики, заводы) и природных факторов (воздействие стихии). Предложены процедуры построения и подготовки карты местности для систематизации и отображения информации. Разработан алгоритм обработки измерительной информации на основе вейвлет-преобразования, позволяющий производить определение параметров дефектов железнодорожного полотна сразу после измерений и не требующий накопления информации для последующей расшифровки. Предложены методики оценки влияния природных факторов и техногенных объектов на безопасность движения с целью оперативного представления информации для выработки управленческих решений.

**Ключевые слова:** железнодорожное полотно, геоинформационные системы, дефект, чрезвычайные ситуации, вейвлет-преобразование.

**Введение**

При решении вопросов обеспечения безопасности железнодорожного (ЖД) движения необходимо учитывать особенности железных дорог: их протяженность, распределенность по территории России и сопредельным государствам, наличие возможных разнообразных дефектов полотна, неизбежное влияние на состояние железной дороги природных факторов и техногенных объектов, сезонность, климат, рельеф местности и др. Причем информация о точном местоположении дефектов, возмущающих объектов, их размеры и степень воздействия существенно влияют на качество управленческих решений, принимаемых и реализуемых на различных уровнях. Следует также учитывать, что инфраструктура железной дороги распределена неравномерно географически и достаточно удалена, что обуславливает особенность сбора и обобщения информации.

В этой связи привлекательным становится применение в системах предотвращения чрезвычайных ситуаций (ЧС) геоинформационных технологий (ГИС). Примером такой системы может служить программный продукт ArcGIS американской компании ESRI [1].

В России на данный момент нет систем предотвращения ЧС на транспорте, охватывающих все аспекты, влияющие на железную дорогу. Существующие системы – путеизмерительные вагоны, исследующие искажения геометрии рельсовых нитей, не способны охватить всю сеть достаточно протяженных железных дорог России. «Ручные» методы контроля полотна железной дороги являются ресурсоемкими и не оперативными. Вместе с этим оценке влияния на железную дорогу природных факторов и техногенных объектов не уделяется сколько-нибудь существенного внимания.

На сегодня ГИС находят применение в таких областях как геологоразведка и полевые изыскательные работы, мониторинг технологических режимов работы нефте- и газопроводов, проектирование магистральных трубопроводов, моделирование и анализ последствий аварийных ситуаций. В земельном кадастре ГИС применяются при ведении кадастрового учета земель и зеленых насаждений, городском планировании и проектировании объектов. В природопользовании ГИС эффективны при управлении лесозаготовками, ведении лесных кадастров, планировании подходов к лесу и проектировании дорог. В вопросах охраны окружающей среды ГИС используют для оценки и мониторинга состояния природной среды, планировании природоохранных мероприятий, моделировании экологических катастроф и анализе их последствий. На транспорте ГИС могут найти применение при управлении транспортной инфраструктурой и ее развитии, управлении парком транспортных средств и для нахождения кратчайшего расстояния, управления движением, оптимизации маршрутов и анализа грузопотоков. Исходя из этого, авторам представляется, что применение ГИС для задачи предотвращения ЧС на железной дороге является логичным и современным решением. Это позволит объединить информацию от всех видов измерителей состояния ЖД полотна, работать с пространственно-распределенной информацией для ее сквозной, интегральной и согласованной обработки. Это обеспечивает полной, достоверной и оперативной пространственной информацией лицо, уполномоченное принимать управленческие решения.

Целью разрабатываемой геоинформационной системы предотвращения ЧС является сбор информации и ее визуальное представление для оценки влияния дефектов ЖД полотна, природных факторов, факторов воздействия на железную дорогу техногенных объектов (фабрики, заводы), расположенных вблизи железной дороги, с целью повышения безопасности движения. В настоящей работе предложен и реализован программно вариант геоинформационного комплекса.

**Структурная схема системы предотвращения ЧС на базе ГИС**

При разработке ГИС сформулированы основные функциональные задачи системы:

- сохранение измерительной информации для обеспечения возможности сравнения с последующими измерениями, т.е. наличие базы данных (БД);

- наличие в своем составе набора базовых алгоритмов для обработки измерительной информации от датчиков с целью измерения параметров дефектов ЖД полотна;
- наличие методики экспертной оценки степени влияния найденных дефектов, а также природных факторов и техногенных объектов на безопасность движения;
- отображение результатов анализа на карте;
- оперативное предоставление информации лицу, принимающему решения.

Структурная схема системы представлена на рис. 1. Разработанное программно-алгоритмическое обеспечение подобной системы, созданное авторами, в полной мере удовлетворяет сформулированным задачам.

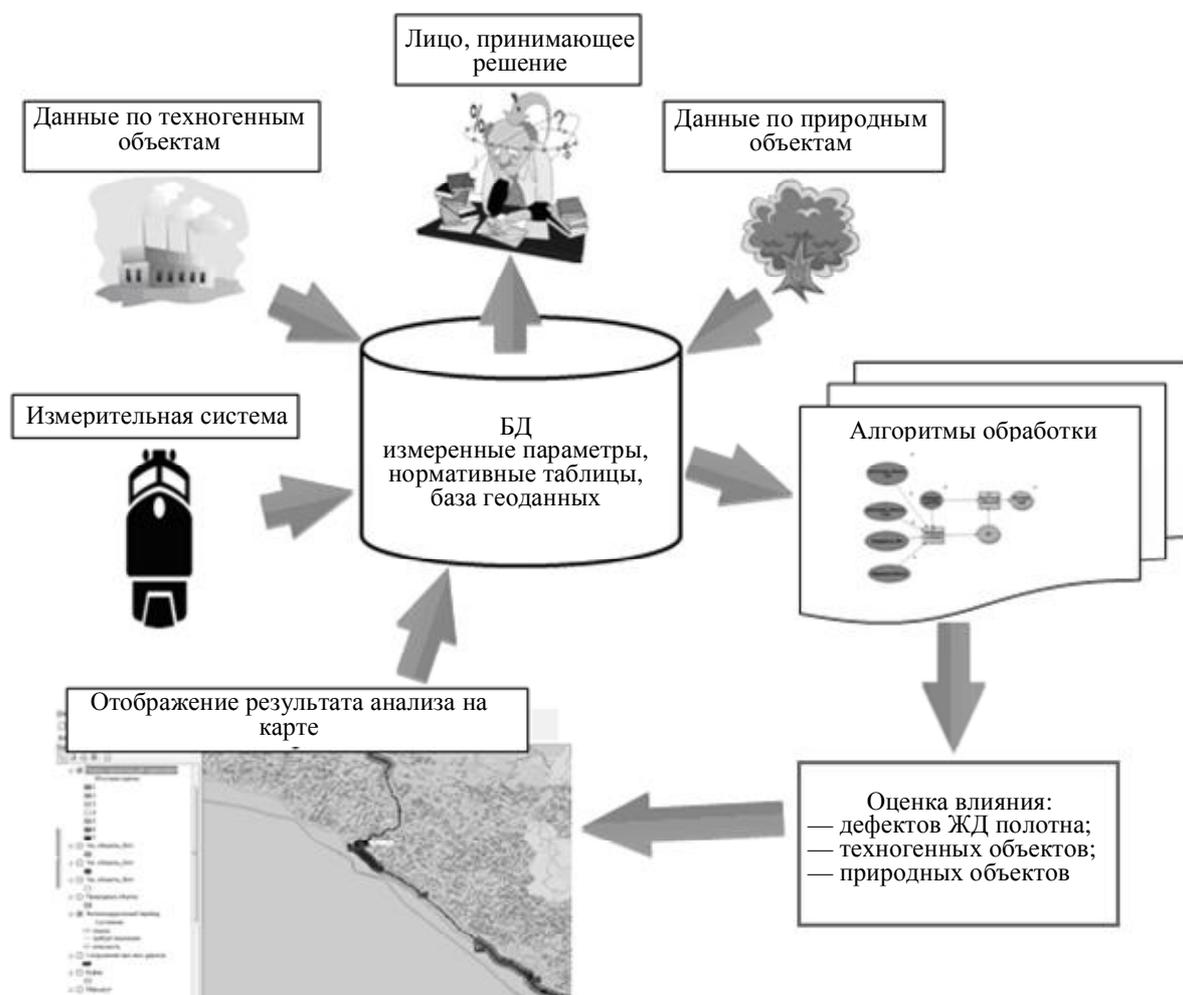


Рис. 1. Структурная схема системы предотвращения ЧС на железной дороге на базе ГИС

Первичным измерительным преобразователем (ПИП), является вибродатчик, установленный на буксе колесной пары [2]. Сигнал с ПИП подвергается обработке с использованием вейвлет-преобразования с целью выделения локальных составляющих, характеризующих параметры дефектов ЖД полотна. Информация о дефектах (местоположение, протяженность, глубина) аккумулируется в БД. Аналогичным образом информация о природных факторах и техногенных объектах, нормативные таблицы и геоданные (топооснова, географическая модель железной дороги, линейная схема маршрута, модели объектов и др.) заносятся в БД.

В дальнейшем анализируется содержимое БД и формируются оценки влияния на безопасность движения дефектов ЖД полотна, техногенных объектов и природных факторов, находящихся вблизи исследуемого участка железной дороги. Результаты анализа отображаются на карте и предоставляются лицу, ответственному за принятие решений.

#### Оценка влияния дефектов ЖД полотна, природных факторов и техногенных объектов на железную дорогу

Для оценки влияния на железную дорогу дефектов ЖД полотна, природных факторов и техногенных объектов рассматриваемый участок обращения локомотива разбивается на подучастки, на протяжении которых скорость движения локомотива имеет строго фиксированное значение. На данном участке

создается модель железной дороги. Каждый подучасток модели имеет свой идентификационный номер, привязка к которому позволяет оценить влияние дефектов ЖД полотна, природных факторов и техногенных объектов на безопасность движения локомотива.

Необходимо учитывать, что ряд объектов не располагается непосредственно на железной дороге, а находится в отдалении от нее. Разработанные программные модули позволяют строить на модели железной дороги так называемые «буферные зоны». Радиус зон определяется экспериментально. Считается, что все объекты, попавшие в «буферную зону» и характеризующиеся показателем воздействия, будут влиять на безопасность подучастка железной дороги (рис. 2).

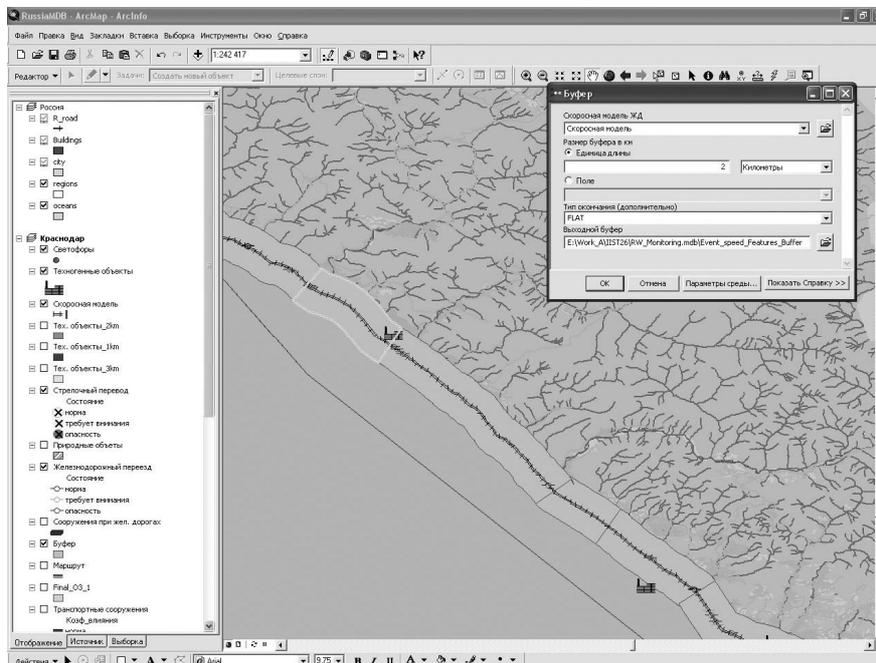


Рис. 2. Пример формирования «буферных зон»

Данные, поступающие от измерительной системы, формируют базу параметров (дефектов), которая позволяет обращаться как к информации, полученной после текущего проезда, так и к ранее полученным результатам контроля состояния пути. В зависимости от степени и количества обнаруженных отступлений от установленных в нормативно-технической документации рассматриваемому участку железной дороги дается балловая оценка его состояния по каждому из показателей.

Обнаруженные дефекты разделяются на сколы и просадки. Также определяется местоположение стыков. Каждый вид дефектов проявляется в измерительном сигнале в виде локальной составляющей в соответствующем частотном диапазоне, для их выделения и разделения, как было отмечено ранее, используется алгоритм дискретного вейвлет-преобразования [2]. Для обеспечения исследования в режиме реального времени применен алгоритм скользящего дискретного вейвлет-преобразования. Этот алгоритм позволяет производить определение состояние ЖД полотна в момент измерения, т.е. отказаться от практикуемого в настоящее время измерения, происходящего в два этапа – измерение и последующая расшифровка результатов.

Размеры отступлений от норм, правила содержания пути и обнаруженные дефекты сопоставляются с допускаемыми размерами и установленными требованиями, предъявляемыми к обеспечению безопасности движения поездов в зависимости от установленных скоростей. Результатом этого является присвоение отрезку пути I, II, III или IV группы отступлений. В зависимости от этого выносятся рекомендации о частичном или полном ремонте ЖД пути, снижении скорости движения ЖД состава или закрытии пути как аварийно-опасного. Кроме того, учитываются срок эксплуатации и материалы.

Для оценки влияния природных факторов и техногенных объектов на железную дорогу по поступившим в базу данным предлагается относить все объекты и факторы, оказывающие влияние на железную дорогу, к одному из трех показателей воздействия:

1. слабое влияние;
2. среднее влияние;
3. сильное влияние.

Для этого прибегают к экспертным оценкам, которые основаны на априорных знаниях о рассматриваемых факторах. В силу того, что объекты могут оказывать воздействие на некотором расстоянии, вокруг них строятся зоны влияния, учитывающие скорость и направление ветра. Далее проводится оценка влияния природных факторов и техногенных объектов на безопасность движения для каждого под-участка.

В качестве примера рассмотрим техногенные объекты (предприятия и заводы), расположенные вблизи железной дороги. Их влияние можно оценить на основе априорных знаний (АЗ), которые являются исходными данными для построения моделей ЖД сооружений и полотна, а также окружающих природных факторов и техногенных объектов [3]:

$$AZ_{ind} = (A_c, d, t_m, f_b, n_t, tr_f, \dots), \quad (1)$$

где  $A_c$  – деятельность предприятия (насколько вредное воздействие оказывает деятельность предприятия на окружающую среду);  $d$  – удаленность предприятия от железной дороги;  $t_m$  – время создания предприятия;  $f_b$  – частота возникновения аварий, сбоев в работе предприятия;  $n_t$  – применение новых технологий в работе предприятия;  $tr_f$  – использование очистных сооружений на предприятии и другие. В выражении (1) представлен минимальный состав данных, который необходим для реализации системы. Количество данных может быть расширено, что может способствовать уточнению получаемых результатов. Полный список формирует эксперт (специалист), занимающийся данной проблемой.

На основе анализа АЗ, представленных в (1), каждому предприятию и заводу присваивается показатель воздействия на железную дорогу. В силу того, что влияние предприятия распространяется на некотором расстоянии, вокруг каждого из них строятся «зоны влияния» (рис. 3). Зона наименьшего радиуса считается самой опасной и имеет максимальный показатель воздействия, установленный экспертами. Следующая по радиусу зона менее опасна, но, в зависимости от вида предприятия, может быть значимой при оценке. Третья зона – самого большого радиуса – считается практически безопасной. Ее необходимо вводить и учитывать при анализе влияния разного рода химических, нефтеперерабатывающих, а также атомных предприятий.

Оценка влияния природных факторов (воздействие стихии) на состояние рельсового пути осуществляется по трехбалльной шкале в результате учета уровня их опасности и удаленности от ЖД полотна. Состав АЗ для природных факторов на примере ЧС, которые могут иметь место в районе рассматриваемого подучастка железной дороги, представлен в следующем виде:

$$AZ_{em} = (Sp, ex, d, f, d_r, \dots), \quad (2)$$

где  $Sp$  – вид ЧС;  $ex$  – протяженность ЧС;  $d$  – удаленность ЧС от железной дороги;  $f$  – частота появления ЧС в данном районе (по статистическим данным);  $d_r$  – степень риска ЧС. Каждый тип ЧС оценивается некоторой степенью риска (чаще всего от 1 до 3, где 1 – наиболее опасная ЧС, а 3 – менее опасная для окружающей среды и человека) [4].

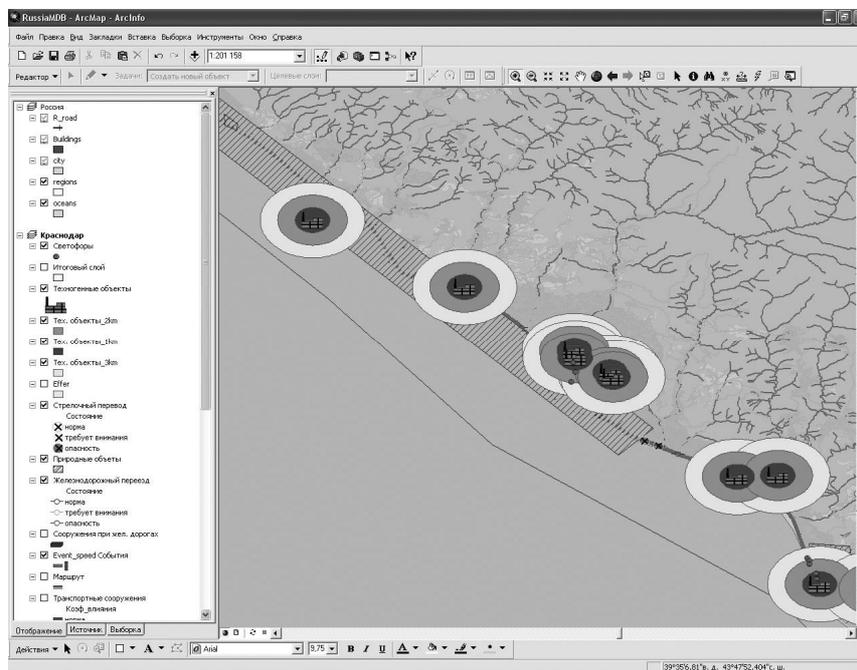


Рис. 3. Зоны влияния предприятий и природных факторов

По АЗ, представленным в (2), каждому природному фактору присваивается показатель воздействия на железную дорогу. Для формирования оценок состояния на базе ГИС созданы модели, реализующие алгоритмы обработки данных, и позволяющие в автоматическом режиме формировать итоговую оценку влияния дефектов ЖД полотна, техногенных объектов и природных факторов в зоне каждого подучастка железной дороги. Информация визуализируется на карте и может быть предоставлена лицу, принимающему решения с целью выработки управляющих рекомендаций.

**Заключение**

Предложена структурная схема системы предотвращения чрезвычайных ситуаций на железной дороге, реализующая геоинформационные технологии. Для предложенной модели разработан алгоритм обработки измерительной информации с применением вейвлет-преобразования, что позволяет определять параметры дефектов железнодорожного полотна в режиме реального времени и не требует накопления информации для последующей расшифровки.

Предложены методики оценки влияния природных факторов и техногенных объектов на безопасность движения с целью оперативного представления комплексной информации для выработки управленческих решений.

Реализовано программно-алгоритмическое обеспечение системы, позволяющее систематизировать и визуализировать обработанную информацию.

Разработанная система предотвращения чрезвычайных ситуаций на железной дороге на базе геоинформационных технологий обеспечивает:

- сбор и обработку информации по природным факторам, техногенным объектам и от измерительной системы;
- анализ данных с использованием заложенных алгоритмов обработки;
- оценку влияния дефектов железнодорожного полотна на безопасность движения;
- оценку влияния техногенных (фабрики и заводы) объектов и природных (воздействие стихии) факторов на безопасность движения;
- отображение результатов анализа по требуемым запросам к базе данных на карте;
- предоставление оперативной информации лицу, принимающему решения.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (грант № 14.В37.21.1540).

**Литература**

1. Андрианов В. ГИС и транспорт // ArcReview. – 2007. – № 3 (42). – С. 1–2.
2. Алексеев В.В., Боронахин А.М., Калякин И.В., Коновалова В.С., Подгорная Л.Н. Измерение характеристик железнодорожного полотна с помощью измерительной системы, построенной на базе микро механических акселерометров // Приборы. – 2011. – № 12 (138). – С. 22–29.
3. Минина А.А. Влияние техногенных и природных объектов на состояние железной дороги // Тезисы доклада 11-ой научно-практической конференции пользователей ГИС «От полюса до полюса». 21–22 мая 2012. – С. 57–63.
4. Безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях. Методические указания по изучению курса. – Хабаровск, 2000 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://edu.dvgups.ru/metdoc/enf/bgd/bgd\\_chs/metod/bgd\\_chs/akchur1.htm](http://edu.dvgups.ru/metdoc/enf/bgd/bgd_chs/metod/bgd_chs/akchur1.htm), свободный. Яз. рус. (дата обращения 28.11.2012).

- Алексеев Владимир Васильевич** – Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ), доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, VVAlekseev@mail.eltech.ru
- Коновалова Вера Сергеевна** – Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ), кандидат технических наук, ассистент, vskonovalova@inbox.ru
- Минина Анастасия Андреевна** – Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ), кандидат технических наук, ассистент, aaminina@mail.ru