

Повышение эффективности прогнозирования ДТП на автомобильных дорогах вне населенных пунктов на основе разработки экспертной системы

Н.А. Банушкина, Е.В. Печатнова

Алтайский государственный университет (Барнаул, Россия)

Improving the Efficiency of Traffic Accidents Prediction on Roads Outside of Settlements on the Basis of an Expert System Development

N.A. Banushkina, E.V. Pechatnova

Altai State University (Barnaul, Russia)

Рассмотрены наиболее распространенные методы прогнозирования дорожно-транспортных происшествий (ДТП). К таким методам относятся методы экстраполяции, прогнозирования с учетом сезонности, моделирования повторяемости аварий. Проверка методов на фактических данных об аварийности на дорогах Алтайского края за 2011–2014 гг. показала низкое качество прогноза, вследствие того что в применяемых методах не используются факторы влияния дорожных условий на безопасность движения.

Поэтому для повышения качества необходим метод, учитывающий множество различных факторов. Основой может служить метод коэффициентов аварийности, заключающийся в установлении влияния различных независимых факторов на вероятность возникновения ДТП. При этом влияние каждого фактора выражено своим коэффициентом. Суммарное влияние определяется как произведение коэффициентов влияния присутствующих на исследуемом участке дороги факторов.

Приведена методика разработки экспертной системы и Базы знаний (БЗ) для прогнозирования ДТП на автомобильных дорогах вне населенных пунктов Алтайского края. Для ее реализации производится первоначальная выборка факторов, предположительно влияющих на вероятность возникновения ДТП, после чего устанавливается их алгоритмическая функция.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, методы прогнозирования, факторы влияния, база знаний, экспертные системы.

DOI 10.14258/izvasu(2015)1.2-15

Проектирование, строительство и эксплуатация дорожной сети включают в себя большой круг проблем, среди которых наиболее серьезной является

In the paper, the most common methods of traffic accidents (TA) prediction are considered. These methods include extrapolation, prediction with consideration of seasonality, and modeling of accidents frequency. Verification of these methods on real data of TA on roads of the Altai Region for the years 2011–2014 reveals low prediction quality due to the fact that the impact of road conditions on traffic safety has not been considered.

Therefore, to improve the prediction quality, a special method is required that considers the multitude of various factors. The accident rate method that determines the impact of various independent factors on TA probability can be taken as a basis. The impact of each factor is expressed by its own coefficient. The total impact is defined as a product of the impact coefficients for the specific test segment of the road. A development technique for the expert system and the knowledge base for TA prediction on roads outside of settlements of the Altai Region is proposed. Its implementation includes the initial sampling of factors that supposedly impact on TA with further elaboration of the algorithmic function.

Key words: traffic accident, predicting methods, factors of influence, knowledge base, expert systems.

высокий уровень дорожной аварийности. Кроме очевидных проблем здравоохранения недостаточный уровень безопасности дорожного движения приводит

к существенным социально-экономическим проблемам развития регионов и страны. Одним из способов снижения числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП) является их предупреждение путем прогнозирования, т. е. процесса предсказания развития тех или иных событий [1, с. 197].

В настоящее время прогнозированием ДТП занимаются структуры МЧС и подведомственные органы. Прогнозирование осуществляется на основании прогноза погоды по районам на федеральных трассах. На региональных автодорогах прогнозирование не производится. Кроме того, не применяется методика, учитывающая различные факторы и их совокупности.

Повышение безопасности в значительной мере сдерживается отсутствием эффективных методов прогнозирования аварийности [2, с. 274].

Эффективные методы прогнозирования помогут значительно улучшить ситуацию в системе обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) путем оповещения населения о потенциальных опасностях, позволят дорожным службам более эффективно распределять ресурсы, службам ГИБДД оперативно реагировать на последствия ДТП и повысить эффективность профилактических мероприятий. Для составления точного прогноза необходимо применять метод прогнозирования, наиболее точно предсказывающий возникновение ДТП.

В настоящее время для прогнозирования ДТП применяют преимущественно статистические методы, основой которых являются данные статистики ГИБДД о ДТП с пострадавшими и погибшими. Наиболее распространены методы экстраполяции, прогнозирования с учетом сезонности, моделирования повторяемости аварий.

Наиболее простым методом является экстраполяция с линейным сглаживанием. Этот метод имеет

смысл при сравнительно краткосрочном прогнозировании и уверенности в том, что основная модель процесса (и тренд) за это время не меняются [3, с. 89].

Проанализировав данные ГИБДД о ДТП с пострадавшими на территории Алтайского края в период 2011–2013 гг., с помощью метода экстраполяции провели прогнозирование количества ДТП на 2014 год. Рассчитаны относительные коэффициенты по каждому из месяцев, годовые коэффициенты функции числа ДТП. Расчеты показали, что годовой коэффициент увеличивается в период с 2011 к 2013 году, предполагается линейный рост месячных относительных коэффициентов (рис. 1).

Расчетное значение F-критерия для уровня значимости 0,05 составляет $F_{эмп} = 4,09$, а табличное значение $F_{крит} = 2,96$. Так как $F_{эмп} > F_{крит}$, то можно утверждать, что между фактическими и расчетными данными имеется существенное различие, что указывает на непригодность метода экстраполирования для прогнозирования количества ДТП.

Метод прогнозирования, учитывающий сезонную аварийность на дорогах, основан на предположении о повторяемости количества ДТП в зависимости от времени года.

Для выявления сезонных особенностей аварийности проанализированы данные о ДТП с пострадавшими на автомобильных дорогах Алтайского края вне населенных пунктов за 2014 год. Определено количество ДТП по каждому из районов края за месяц. На основании предположения о сохранении количества ДТП в районах составлены прогнозы для каждого из месяцев 2015 года.

С целью оценки достоверности метода рассчитана разница между прогнозируемыми и фактическими значениями (рис. 2).

Небольшие отклонения между исследуемыми значениями наблюдаются в юго-западной части края

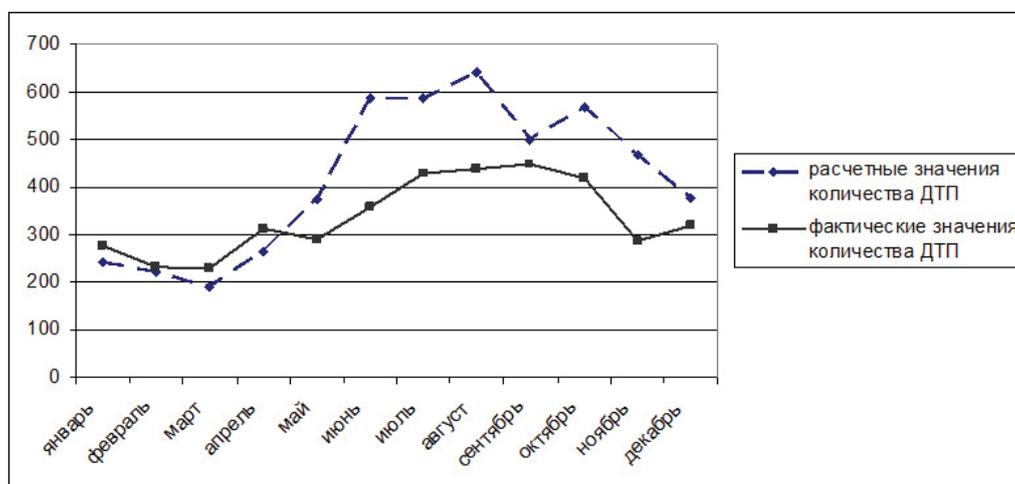


Рис. 1. Фактические (- - -) и прогнозируемые (—) значения количества ДТП по месяцам в течение 2014 г.

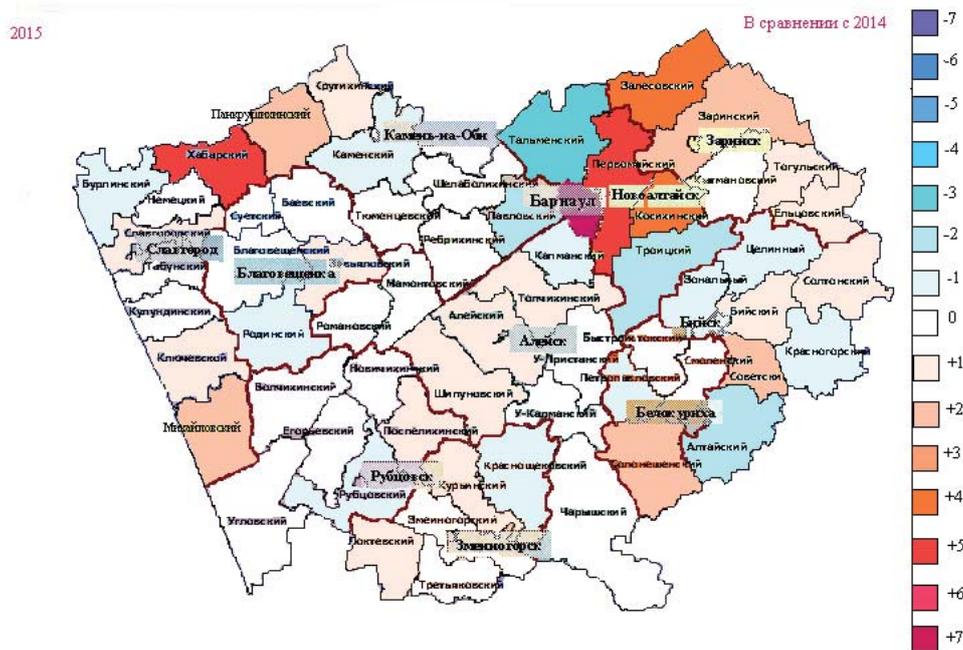


Рис. 2. Разница между числом прогнозируемых ДТП в районах Алтайского края и фактическими значениями за январь 2015 года

в силу низкой общей аварийности и интенсивности движения на дорогах этих районов, в северо-восточной же части отклонения значительны.

В 23 районах из 60 исследуемых прогнозные и фактические значения совпали. Наибольшие отклонения зафиксированы в Хабарском, Тальменском, Первомайском, Косихинском и Залесовском районах. Это связано с большим относительным количеством ДТП.

Метод прогнозирования с учетом сезонности пригоден для сравнительной оценки аварийности автомобильных дорог районов по сезонам, оценки роста числа ДТП в районах, но не может быть использован для точного количественного прогноза числа ДТП.

Прогнозирование может быть осуществлено с помощью моделирования повторяемости аварий, учета их характерных особенностей, таких как внезапность возникновения, быстрота развития, неполнота и неопределенность исходной информации, разнообразие и цепной характер последствий. В связи с этим для анализа и прогнозирования техногенных аварий все шире применяется математическое моделирование [4, с. 5].

Применив метод моделирования повторяемости аварий для прогнозирования ДТП на автомобильных дорогах Первомайского района Алтайского края, определим параметры модели на основании анализа данных о ДТП за 2014 год (оценки времени ожидания наступления ДТП в районе (в днях).

Метод заключается в расчете функции риска, которая описывается выражением (1)

$$H(\tau) = 1 - P_0(\tau) = 1 - \exp\left(-\frac{\tau - \tau_{\text{чс}}}{\tau_c}\right), \quad (1)$$

где τ — время ожидания аварии; $\tau_{\text{чс}}$ — продолжительность аварии; τ_c — средняя продолжительность интервала между двумя смежными авариями.

Рассчитав необходимые величины и подставив их значения в выражение (1), получим, что вероятность возникновения ДТП после предыдущего в течение двух суток составляет 50,9%, трех суток — 65,6%.

Для применения метода моделирования при прогнозировании ДТП проведена оценка модели. Расчетное значение F-критерия для уровня значимости 0,05 составляет $F_{\text{эмп}} = 5,40$, а табличное значение $F_{\text{крит}} = 4,28$. Так как $F_{\text{эмп}} > F_{\text{крит}}$, то можно утверждать, что между фактическими и расчетными данными имеется существенное различие, указывающее на то, что модель описывает ситуацию не в полной мере.

Таким образом, все описанные выше методы имеют высокую погрешность и не могут быть применены для решения проблем прогнозирования аварийности. Низкая точность приведенных методов вызвана тем, что прогнозирование ведется по малому количеству факторов (количество ДТП в предыдущие периоды, сезонность, район края). Для повышения качества прогнозирования необходим метод, учитывающий большое количество факторов, например, погодные явления, особенности дорожной сети, интенсивность движения и другие.

Одновременное влияние различных не зависящих друг от друга факторов можно оценить в соответствии

с положением теории вероятности через обобщенный коэффициент аварийности, рассчитанный как произведение частных коэффициентов аварийности по каждому фактору (2) [5, с. 125]:

$$K_{\text{авар}} = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n \quad (2)$$

где K_1, K_2, K_n — частные коэффициенты аварийности; $K_{\text{авар}}$ — обобщенный (итоговый коэффициент аварийности).

Входящие в эту формулу частные коэффициенты от k_1 до k_n учитывают влияние интенсивности движения и элементов плана и профиля дороги [5, с. 125].

Для определения коэффициентов исследуемая дорога разбивается на однородные участки, для которых из специальных таблиц выбираются частные коэффициенты аварийности, характеризующие влияние на аварийность отдельных факторов (ширины полосы движения, радиуса поворота, скользкости и т. д.) [2, с. 275].

Расчет коэффициентов аварийности может быть использован также для прогнозирования количества происшествий. По О.А. Дивочкину, при значениях $K_{\text{авар}}$ в пределах от 20 до 80 существует достаточно устойчивая связь между числом происшествий на 1 млн авт-км и значением итогового коэффициента аварийности, которая выражена в формуле (3) [5, с. 132]:

$$Y = 0,009K_{\text{авар}}^2 - 0,27K_{\text{авар}} + 34,5, \quad (3)$$

где Y — число дорожно-транспортных происшествий; $K_{\text{авар}}$ — обобщенный (итоговый коэффициент аварийности).

Но для применения данного метода необходимы точные данные о состоянии дорожного и придорожного полотна, видимость, коэффициенты сцепления на каждом участке трассы и др.

В работе проводится анализ влияния различных факторов и установление зависимости между вероятностью возникновения ДТП и этими факторами.

Исследования проводятся в предположении, что на эту вероятность влияет множество факторов, однако решающее влияние оказывает лишь один из них [5, с. 19].

В статье приведена методика разработки экспертной системы и Базы знаний (БЗ) для прогнозирования ДТП на автомобильных дорогах вне населенных пунктов Алтайского края.

Основные принципы формирования Информационной Базы знаний при управлении объектом изложены в работах [6, 7].

Подход к решению данной задачи имеет существенное отличие от принципов реализации экспертной системы поддержки принятия управленческих решений, описанных выше и в работах автора [7, 8].

Ввиду специфики предметной области управленческие решения не могут учитываться в данной задаче. База знаний формируется и динамически изменяется в зависимости от степени влияния отдельных факторов на аварийность.

Из множества $X \in \text{БЗ}$ делается первоначальная выборка факторов (x_1, \dots, x_n) , предположительно влияющих на аварийность. На основании данных прошлых периодов определяется количество ДТП на каждом участке трассы (y_1, \dots, y_m) , где $y_j = f(x_i)$ — алгоритмическая функция, $1 \leq j \leq m$ — порядковый номер участка дороги, $1 \leq i \leq n$ — порядковый номер фактора влияния.

Первоначальная выборка (x_1, \dots, x_n) определяется на основе статистических данных прошлых лет и экспертной оценки специалистов. Для разработки экспертной системы обязательным условием является наличие экспертов в данной области. Более того, эксперты должны сходиться в оценке предлагаемого решения [9, с. 45].

Цель реализации алгоритма — на основе экспертных данных сформировать в Базе знаний несколько непересекающихся подмножеств в зависимости от влияния на целевую функцию.

$$X = X_1 \cup X_2 \cup X_0,$$

где X_1 — подмножество факторов влияния $x_i \in X$, для которых установлена зависимость с аварийностью на участках дороги $y_j \in Y$; X_2 — подмножество факторов влияния $x_i \in X$, для которых установлено отсутствие зависимости с аварийностью на участках дороги $y_j \in Y$; X_0 — подмножество факторов влияния $x_i \in X$, которые необходимо определить, проведя обследования участков дороги $y_j \in Y$, где выявлены пики аварийности без связи с факторами влияния обособленными на остальных участках трассы.

Структура алгоритма:

Для каждого $x_i \in X$ исследуется зависимость / независимость с аварийностью на всех участках трассы $y_j \in Y$. Следует отметить, что для целей данной задачи не имеют значения количественные соотношения между факторами. Важно установить наличие взаимозависимости или ее отсутствие между значениями фактора x_i на большинстве участках трассы и значениями y_j на этих участках. В результате в БЗ формируются подмножества X_1 и X_2 .

Для предупреждения ДТП в последующие периоды могут быть приняты меры воздействия на факторы $x_i \in X_1$. Поскольку установлено отсутствие влияния на аварийность факторов $x_i \in X_2$, то принятия мер по отношению к этим факторам не требуется.

В процессе анализа могут быть выявлены пики аварийности без связи с факторами влияния, обособленными на остальных участках трассы. В результате в Базе знаний формируется подмножество X_0 . Очень важно определить факторы данного подмножества,

так как их нет в первоначальной выборке, а именно они оказывают реальное влияние на аварийность. На основании результатов решения задачи мы можем определить участки для экспертного обследования, так как исследовать всю трассу невозможно.

Проверка алгоритма проведена на трассах Бийск — Белокуриха, Барнаул — Рубцовск. Первоначальная выборка факторов влияния — снеготранспортируемые участки, интенсивность, рельеф дороги — подъем.

Анализ ДТП на трассе регионального значения IP368 «Бийск — Белокуриха» показал, что существует зависимость между интенсивностью движения и аварийностью, поскольку на участке с 27 по 36 км, где наблюдается пиковая интенсивность, отмечен один из очагов аварийности (с 31 по 33 км). Однако согласно анализу, интенсивность автомобильного движения не является единственным и определяющим фактором: один из пиков аварийности наблюдается с 14 по 21 км автодороги, где интенсивность не достигает максимального значения. На трассе федерального значения А322 «Барнаул — Рубцовск — Казахстан» также выявлена зависимость между интенсивностью движения и аварийностью: один из пиков аварийности наблюдается с 17 по 23 км, где отмечается максимальная интенсивность. Другие очаги аварийности находятся на участках со средней интенсивностью движения (88, 102 и 106 км трассы).

При анализе взаимосвязи с подъемом дороги отмечена прямая зависимость: на участке автотрассы с указанной особенностью (с 85 по 97 км) зарегистрировано 10 ДТП с пострадавшими в течение 2014 года.

Таким образом, можно утверждать, что интенсивность движения и наличие участков подъема влияют на вероятность возникновения ДТП, поэтому их следует отнести к множеству факторов влияния X_1 .

Влияние снеготранспортируемых участков дороги не установлено, так как доля аварий на этих участках в летние месяцы больше, чем в зимнее время. Кроме того, в зимнее время доля аварий на этих участках ниже, чем на других. Поэтому наличие на трассе снеготранспортируемых участков можно отнести к множеству X_2 .

Распределение количества ДТП по трассе также показывает на существование нескольких пиков аварийности на участках средней интенсивности при отсутствии на них подъемов. Это свидетельствует о наличии не учтенных при прогнозировании факторов, относящихся к множеству X_0 . Такими факторами могут быть состояние и особенности дорожного и придорожного полотна, погодные явления и их влияние на аварийность, состав автотранспортного потока и некоторые другие.

Проведенные исследования указывают на эффективность применения экспертных систем для анализа факторов влияния и прогнозирования ДТП.

При учете большего количества факторов и установлении их влияния на вероятность возникновения ДТП качество прогноза будет повышаться.

По мере накопления данных в Базе знаний погрешность прогнозирования, полученная за счет недостаточности статистических данных, малой детализации по участкам и недостаточного исследования факторов влияния, будет снижаться.

Библиографический список

1. Нагоев А.Б., Филимонова Н.В. Прогнозирование и планирование как элементы системы управления промышленными предприятиями // *Фундаментальные исследования*. — 2015. — № 3.
2. Капский Д.В. Повышение безопасности дорожного движения на основе прогнозирования аварийности // *Научно-технический сборник. Коммунальное хозяйство городов*. — 2006. — № 69.
3. Гольдштейн Г.Я. Основы менеджмента : учебное пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — Таганрог, 2003.
4. Шаптала В.Г., Радоупкин В.Ю., Шаптала З.В. Основы моделирования чрезвычайных ситуаций : учебное пособие / под общ. ред. В.Г. Шапталы. — Белгород, 2010.
5. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения : учебник для вузов. — М., 1993.
6. Банушкина Н.А. Разработка алгоритмов формирования информационной Базы знаний, предназначенной для автоматизации принятия управленческих решений // МАК-2009: материалы двенадцатой регион. конф. по математике. — Барнаул, 2009.
7. Банушкина Н.А. База знаний экспертной системы «Анализ эффективности управленческих решений» // *Известия Алт. гос. ун-та*. — 2011. — № 1 (69).
8. Банушкина Н.А. Особенности разработки экспертных систем в зависимости от класса объектов // *Известия Алт. гос. ун-та*. — 2011. — № 2/2 (69).
9. Пятковский О.И. Интеллектуальные информационные системы (системы обработки знаний) : учебное пособие / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. — Барнаул, 2010.