

УДК 004.031

М.Е. Елисеев, Л.Н. Мазунова, И.Н. Елисеева

СТАТИСТИЧЕСКИЙ И КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПОГОДНЫХ ФАКТОРОВ В ИНТЕРАКТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассматривается статистический и корреляционный анализ погодных факторов в интерактивной информационной системе повышения безопасности дорожного движения. Анализируется влияние метеоусловий на безопасность дорожного движения на автомобильном транспорте в зимний период. Методом корреляционного анализа оценивается теснота связи между самими погодными факторами и количеством ДТП, производится отбор погодных данных, значимых для исследования. Строится критерий, который с высокой вероятностью позволяет выделить сочетание метеорологических факторов, приводящее к росту числа аварий. Определяющими показателями являются прогнозные метеофакторы и их статистические характеристики. Экспериментальным путем найдены критические значения критерия для каждого температурного диапазона, а также произведена оценка точности расчета. Предложенный критерий планируется применить в интерактивной информационной системе направленной на повышение безопасности дорожного движения путем информирования дорожных служб, водителей и других участников дорожного процесса об ухудшении дорожных условий.

Ключевые слова: интерактивная информационная система, статистический анализ, авария, погодные факторы, корреляционный анализ, безопасность дорожного движения, ДТП, географическая информационная система, ГИС, метеофакторы.

Введение

Работа относится к циклу статей, посвященных созданию интерактивной информационной системы повышения безопасности дорожного движения (ИИСПБДД). Такие системы сочетают плюсы ГИС-технологий, аналитических методов и методов работы с базами данных; их описание приводится, например, в [1-3]. Архитектура системы подробно рассматривается в [4, 5], приведем здесь лишь общую схему с краткими комментариями (рис. 1).

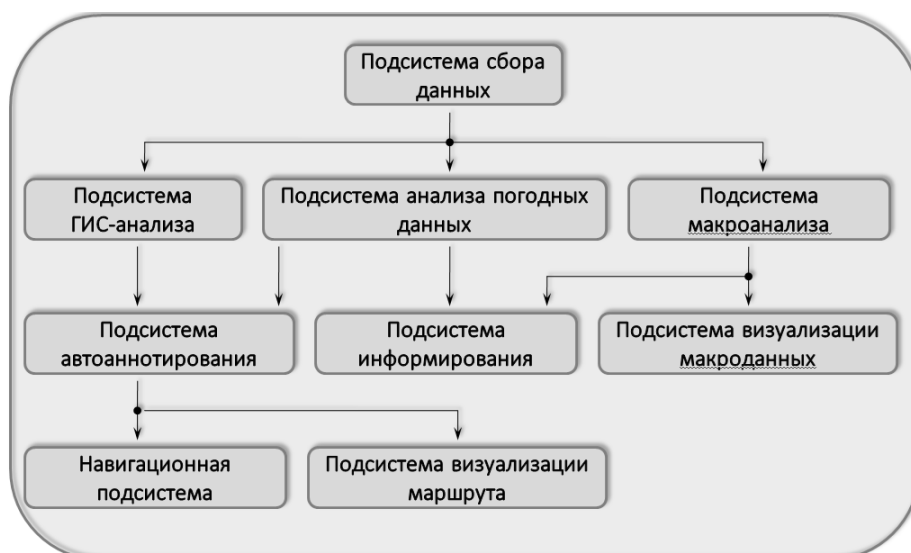


Рис. 1. Схема архитектуры интерактивной информационной системы повышения безопасности дорожного движения

Изначально данные поступают в систему в различных форматах, в подсистеме сбора данных форматы данных преобразуются и заносятся в общую базу (авторы использовали базы данных MySQL). Потом данные анализируются при помощи трех подсистем:

- подсистемы ГИС-анализа;
- подсистемы анализа погодных данных;
- подсистемы макроанализа.

Затем, в зависимости, от запроса конечного пользователя, данные анализа, преобразуются в удобную для восприятия форму в подсистемах:

- навигации (при помощи подсистемы автоаннотирования);
- визуализации маршрута (при помощи подсистемы автоаннотирования);
- информирования;
- визуализации макроданных.

Примеры работы системы показаны на рис. 2 и 3.

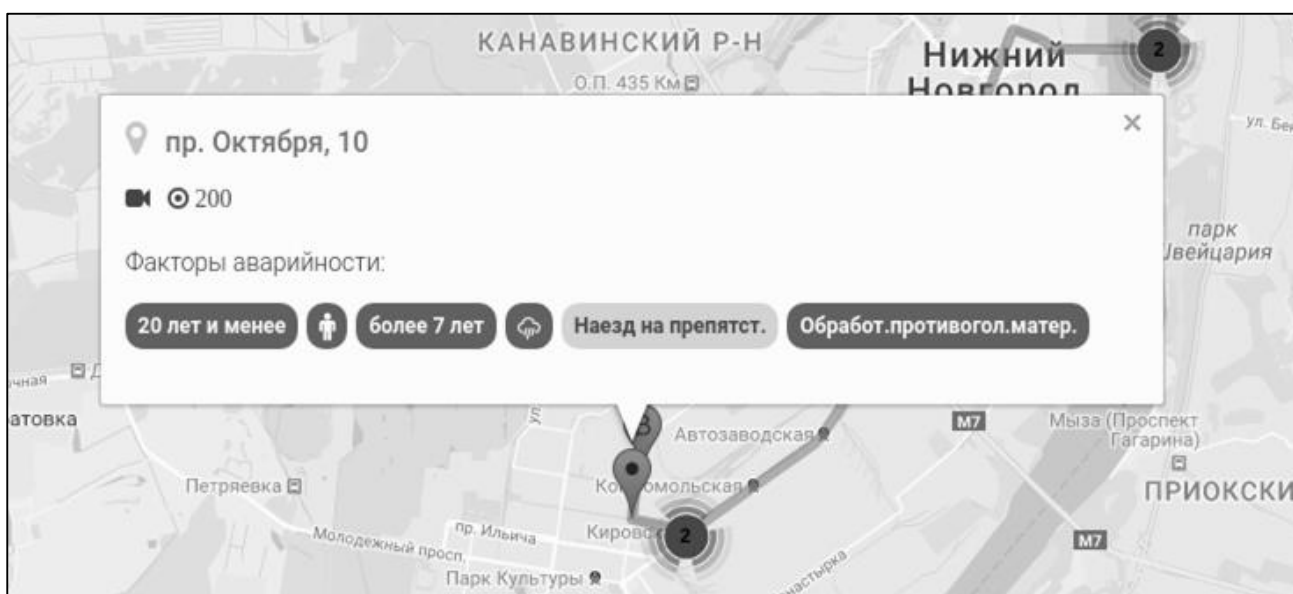


Рис. 2. Пример работы ИИСПБДД – аннотированное сообщение

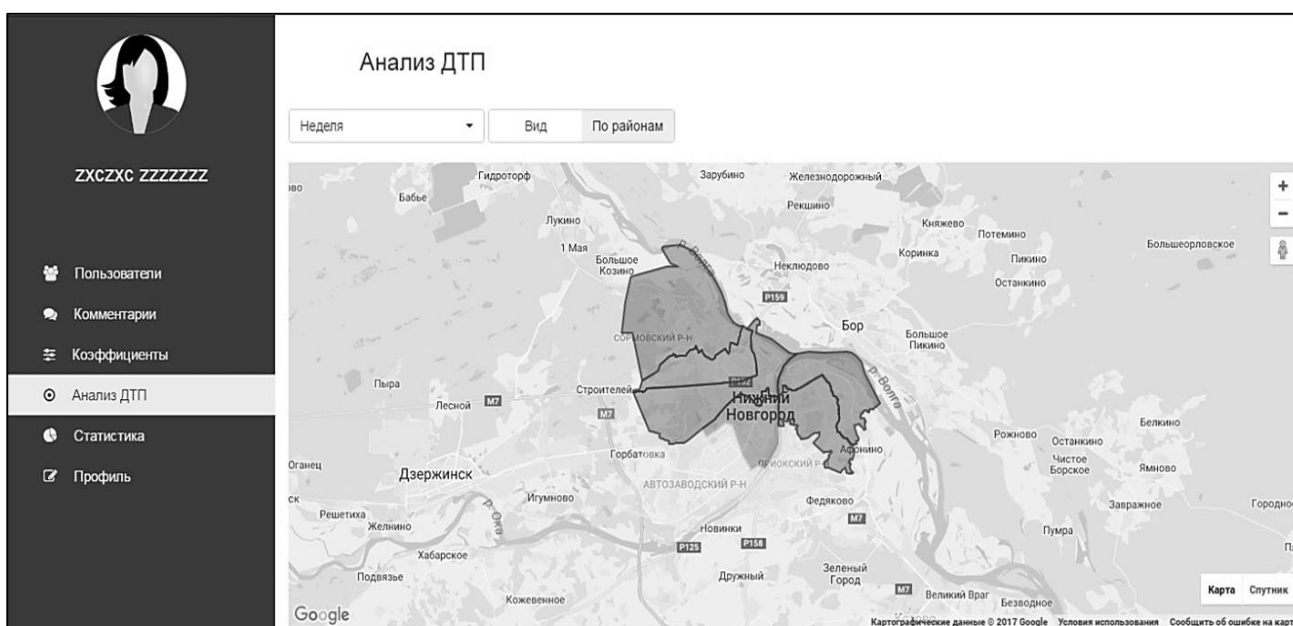


Рис. 3. Пример работы ИИСПБДД – работа подсистемы макроанализа

В первых двух случаях пользователем системы является водитель, в третьем – водитель или работник дорожной службы, в четвертом – специалист по организации дорожного движения или работник администрации.

Целью настоящей работы является построение математической модели подсистемы анализа погодных данных. В качестве сопутствующих факторов, сопровождающих дорожно-транспортные происшествия, часто указывают погодные условия. Так, уровень аварийности при неблагоприятной погоде может увеличиваться в несколько раз по сравнению со средним значением. Причины такого скачка количества аварий хорошо известны: дополнительными факторами риска возникновения дорожно-транспортных происшествий в зимний период становятся снег, туман, ледяной дождь, ухудшающие видимость на дороге и состояние дорожного покрытия (рис. 4). Следствием выпавших осадков является изменение состояния дорожного полотна: гололед, снежный накат, уменьшающие коэффициент сцепления шин с дорогой, вызывая тем самым опасность заноса и возрастание тормозного пути. Помимо этого, материал, из которого изготовлены шины, становится твердым и непластичным, в результате чего снижается сила трения и увеличивается тормозной путь. Снежные заносы вдоль дороги снижают видимость и уменьшают используемую ширину проезжей части. В сложных дорожных условиях, вследствие утомления, снижается внимательность водителя, увеличивается время его реакции. Также в непогоду на дороге менее организованы пешеходы.

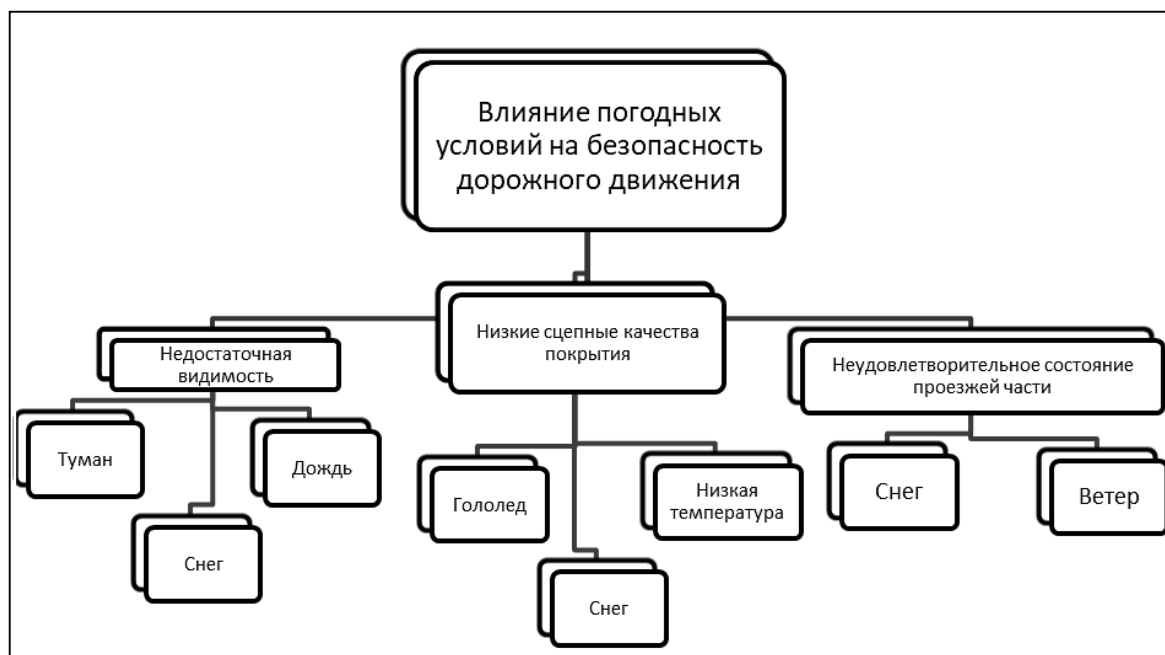


Рис. 4. Влияние метеоусловий на безопасность дорожного движения

Метеопрогнозирование в последние годы стало реальным инструментом снижения негативных последствий влияния неблагоприятных погодных условий на дорожную ситуацию. Новые технологии и средства позволяют использовать эту информацию и внедрять с заметным экономическим эффектом в хозяйственную деятельность автотранспортных компаний и дорожных служб. Это особенно актуально в районах с нестабильным климатом, где погода напрямую влияет на состояние дорожного покрытия, а, значит, и на безопасность дорожного движения. Следствие принятия предупредительных мер – рациональное и в то же время эффективное расходование денежных средств и противогололедных реагентов, которые используются при зимнем содержании автомобильных дорог.

Отметим, что сам по себе метеопрогноз, каким бы точным он ни был, не может оказать значительного влияния на повышение безопасности дорожного движения. Необходимо выявить, что данное сочетание погодных факторов представляет потенциальную опасность, произведя при этом комплексное адресное информирование участников дорожного процесса.

Дорожная служба, отвечающая за чистку снега и устранение гололедицы, должна иметь список мест, которым нужно уделить особое внимание. Последнее возможно установить только посредством комплексного статистического анализа. Таким образом, приходим к выводу о необходимости внесения информации о погодных факторах в интерактивную информационную систему повышения безопасности дорожного движения.

Материалы и методы

Влияние погодных факторов на аварийность рассматривается в ряде работ [6-15]. Большинство исследователей отмечают, что в случае неблагоприятных погодных факторов число аварий резко растет. Как правило, используются статистические методы и анализ временных рядов [8]. В некоторых работах, например, в [12] рассматриваются вопросы информирования водителей о аварийно-опасном сочетании погодных факторов. Ряд исследований отмечает, что влияние погодных факторов сильно меняется от города к городу и сложно установить общие закономерности [6].

В данной работе рассматривается статистический подход, позволяющий выделить такие закономерности для зимнего периода. В качестве основных методов получения искомого критерия используется корреляционный анализ и другие методы математической статистики. После того, как критерий будет получен в подсистеме ГИС-анализа интерактивной информационной системы, происходит выявление списка мест концентрации ДТП с данными характеристиками с помощью динамических SQL-запросов к базе данных. Пример функции составления списка очагов показан на рис. 5.

```
function getQueryDtpNodes($param, $needDtp=false){
    $selectouter = "select lat, lng, id_node, full_count";
    $selectinner = "select p.lat, p.lng, id_node, count(*) full_count";

    $fromInner = "
        from dtpnode p
        join dtp_by_node dt on dt.id_node = p.id
        join dtp d on d.id_point = dt.id_dtp ";
    $where = " where 1=1";

    $outerSQL = "";
    if(isset($param["date_from"])) $where .= " and d.dt >= ? ";
    if(isset($param["date_to"])) $where .= " and d.dt <= ? ";
    if(isset($param["weather"])){
        $selectinner .= ",count(case when id_weather=? then 1 else null end) weather_count";
        $selectouter .= ", weather_count, full_count/weather_count weather_koef";
    }
    if(isset($param["age"])){
        $fromInner .= " left join dtp_member m on m.dtp = d.id";
        $selectinner .= ",count(case when id_ages=? then 1 else null end) ages_count";
        $selectouter .= ", ages_count, full_count/ages_count ages_koef";
    }
    if(isset($param["experience"])){
        if(!isset($param["age"])) $fromInner .= " left join dtp_member m on m.dtp = d.id";
        $selectinner .= ",count(case when id_experiences=? then 1 else null end) experiences_count";
        $selectouter .= ", experiences_count, full_count/experiences_count experiences_koef";
    }
    if(isset($param["gender"])){
        if(!isset($param["age"])) && !isset($param["experience"])) $fromInner .= " left join dtp_member m on m.dtp = d.id";
        $selectinner .= ",count(case when male=? then 1 else null end) gender_count";
        $selectouter .= ", gender_count, full_count/gender_count gender_koef";
    }
    if(isset($param["type"])){
        $selectinner .= ",count(case when type=? then 1 else null end) type_count";
        $selectouter .= ", type_count, full_count/type_count type_koef";
    }
    if(isset($param["factor"])){
        $selectinner .= ",count(case when id_sop_type=? then 1 else null end) factor_count";
        $selectouter .= ", factor_count, full_count/factor_count factor_koef";
    }
    $SQL = $selectouter . " from ( " .
        $selectinner . " " .
        $fromInner . " " .
        $where .
        " group by id_node, lat, lng) innerq " .
        " order by id_node, lat, lng ";

    //echo $SQL;
    return $SQL;
}
```

Рис. 5. Пример функции формирования списка мест концентрации ДТП

В качестве объекта исследования выбраны две области севера России: Мурманская и Архангельская. Выбор обусловлен, во-первых, большой продолжительностью климатической зимы, во-вторых, особенностями климата. В качестве входных данных используется база данных аварийности [16] за зимний период сезонов 2016-2017, 2017-2018, 2018-2019 гг. в Мурманской и Архангельской областях (данные по аварийности в г. Мурманск и в прилегающих районах: Кольском, Мончегорском, Апатитском и в части Архангельской обл.: г. Архангельск, г. Северодвинск, Приморский р-н); архив погодных данных [17] за тот же период в Мурманской и Архангельской областях. В зимний период вошли дни, в которых наблюдался устойчивый температурный минус (начиная с трех дней подряд с отрицательной среднесуточной температурой и заканчивая тремя днями с теми же характеристиками). Из архива извлечены следующие данные:

- температура окружающего воздуха (Т);
- атмосферного давления на уровне метеостанции (P0);
- относительная влажность (U);
- скорость ветра (Ff).

Кроме того, были рассмотрены такие погодные характеристики, как суточные изменения температуры (ΔT), атмосферного давления (ΔP_0) и относительной влажности (ΔU). В дальнейшем данные о ДТП и погодных условиях по каждой области были совмещены в одну таблицу. Объем выборочных данных по Архангельской области составил 536, по Мурманской обл. – 505 дней.

Таблица 1

Средние показатели погодных факторов по временным периодам

Область	Средние показатели	ДТП, шт	Температура, °С	Атм. давление, мм рт. ст.	Влажность, %	Скорость ветра, м/с
Архангельская	2016-2017	2,54	-5,96	757,07	86,63	2,67
	2017-2018	2,40	-5,90	759,81	86,96	2,49
	2018-2019	2,20	-5,89	757,96	86,92	2,41
Мурманская	2016-2017	2,54	-6,77	753,44	86,70	1,74
	2017-2018	1,61	-6,65	752,64	80,85	3,22
	2018-2019	1,86	-6,85	757,52	84,02	4,05

Полный объем данных был последовательно обработан методами математической статистики. В табл. 2 представлены средние значения рассматриваемых параметров за весь период.

В среднем за три года в Мурманской области в зимний период происходит в среднем 1,85 ДТП в день, средняя температура составляет $-6,78^\circ\text{C}$, среднее атмосферное давление – 755,34 мм рт. ст., средняя влажность – 83,23 %, средняя скорость ветра – 3,5 м/с. В Архангельской области средние показатели следующие: 2,31 ДТП в день, температура $-5,92^\circ\text{C}$, атмосферное давление – 758,29 мм рт. ст., влажность – 86,83 %, скорость ветра – 2,52 м/с.

Полученные данные свидетельствуют о том, что средние, максимальные и минимальные характеристики в рассматриваемых регионах практически не отличаются друг от друга, за исключением скорости ветра. В Мурманской области наблюдаются более высокие значения этого показателя.

Таблица 2

Средние, максимальные и минимальные значения показателей
за зимний период 2016-2019 гг.

Область	Кол-во ДТП	Температура, °С (Т)	Давление, мм рт. ст. (Р _о)	Влажность, % (U)	Скорость ветра, м/с (Ff)	ΔТ, °С	ΔР _о , мм рт ст	ΔU, %
Средние значения показателей								
Мурманская	1,85	-6,78	755,34	83,23	3,5	0,04	0,01	-0,13
Архангельская	2,31	-5,92	758,29	86,83	2,52	0,00	0,00	-0,14
Максимальные значения показателей								
Мурманская	9	4,24	788,48	98,88	10,63	15,52	20,12	18,23
Архангельская	10	5,38	787,05	100,00	5,88	17,73	21,01	32,88
Минимальные значения показателей								
Мурманская	0	-36,92	726,8	48,65	0,33	-15,9	-25,2	-18,38
Архангельская	0	-39,39	732,61	46,13	0,13	-16,49	-19,6	-25,04

Теория/расчет

На первом этапе исследования применялся корреляционный анализ с целью выявления аварийноопасных погодных факторов. Определялись коэффициенты корреляции, отражающие взаимосвязь между количеством ДТП и погодными факторами и влияние их друг на друга (табл. 3, 4).

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между парами факторов (Мурманская обл.)

	ДТП	Т	ΔТ	Р _о	ΔР _о	U	ΔU	Ff
ДТП	1,000							
Т	0,092	1,000						
ΔТ	0,029	0,348	1,000					
Р _о	0,019	-0,181	-0,107	1,000				
ΔР _о	0,015	-0,178	-0,449	0,301	1,000			
U	0,207	0,007	0,058	-0,044	-0,038	1,000		
ΔU	0,042	0,088	0,233	-0,123	-0,246	0,395	1,000	
Ff	0,058	0,366	0,134	-0,093	-0,200	-0,224	-0,183	1,000

Коэффициенты корреляции свидетельствуют о том, что количество ДТП в Мурманской обл. в большей степени зависит от влажности и температуры и в меньшей степени от других факторов. По всей рассмотренной совокупности был вычислен коэффициент детерминации $R^2 = 0,071$. Он говорит о том, что изменение количества ДТП на 7,1 % можно объяснить вариацией рассматриваемых погодных факторов.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между парами факторов (Архангельская обл.)

	ДТП	T	ΔT	Po	ΔPo	U	ΔU	Ff
ДТП	1,000							
T	0,059	1,000						
ΔT	0,028	0,279	1,000					
Po	-0,002	-0,232	-0,055	1,000				
ΔPo	-0,005	-0,219	-0,486	0,294	1,000			
U	0,342	0,154	0,085	-0,105	-0,133	1,000		
ΔU	0,099	0,108	0,325	-0,090	-0,308	0,391	1,000	
Ff	-0,014	0,455	0,319	-0,252	-0,365	-0,053	-0,045	1,000

В Архангельской области рост уровня аварийности связан с показателями влажности, температуры, изменения влажности, в меньшей степени с другими факторами. По всей рассмотренной совокупности был вычислен коэффициент детерминации $R^2 = 0,121$. Он говорит о том, что изменение количества ДТП на 12 % можно объяснить вариацией рассматриваемых погодных факторов.

Таблица 5

Коэффициенты корреляции и детерминации

Город	Объем выборки	Коэффициент множественной корреляции	Коэффициент детерминации
Мурманск	505	0,267	0,071
Архангельск	536	0,348	0,121

С целью увеличения тесноты связи между показателями погоды и количеством ДТП вся совокупность данных была рассортирована на 7 температурных диапазонов: $0 < t < 5$, $-2 < t < 0$, $-4 < t < -2$, $-6 < t < -4$, $-10 < t < -6$, $-15 < t < -10$, $t < -15$. Подобное действие объясняется тем, что температура является одним из основополагающих факторов, которые влияют на аварийность. Кроме того, существует зависимость между температурой воздуха и такими неблагоприятными для безопасности движения факторами, как гололедица, снегопад, снежный накат и пр. Структура таких данных представлена в табл. 6, 7.

Таблица 6

Коэффициенты корреляции и детерминации в температурных диапазонах (Архангельская обл.)

Температурный диапазон	Объем выборки	Среднее количество ДТП	Коэффициент множественной корреляции	Коэффициент детерминации
0; 5	104	2,34	0,513	0,263
-2; 0	96	2,28	0,438	0,192
-4; -2	68	2,34	0,332	0,110
-6; -4	50	2,42	0,416	0,173
-10; -6	86	2,45	0,341	0,116
-15; -10	67	2,39	0,484	0,234
< -15	65	1,91	0,568	0,323

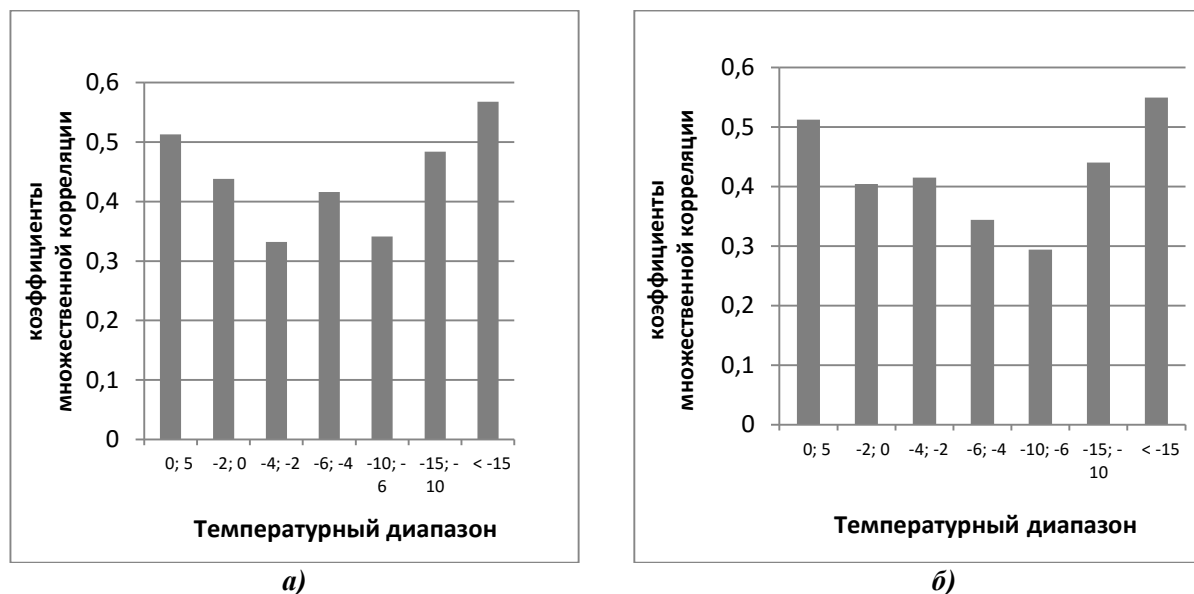
Среднее количество ДТП во всех температурных диапазонах незначительно отличается, за исключением периода с самыми низкими температурами.

Таблица 7

**Коэффициенты корреляции и детерминации
в температурных диапазонах (Мурманская обл.)**

Температурный диапазон	Объем выборки	Среднее количество ДТП	Коэффициент множественной корреляции	Коэффициент детерминации
0; 5	57	2,16	0,512	0,262
-2; 0	66	2,03	0,404	0,163
-4; -2	73	1,79	0,415	0,172
-6; -4	62	1,73	0,344	0,118
-10; -6	117	1,75	0,294	0,087
-15; -10	74	1,92	0,440	0,194
< -15	56	1,66	0,549	0,301

Среднее количество ДТП в температурных диапазонах уменьшается по мере снижения температуры. Коэффициенты множественной корреляции, рассчитанные для каждого температурного диапазона, значительно выше коэффициента, подсчитанного по всей совокупности (рис. 6).



**Рис. 6. Распределение коэффициентов множественной корреляции
по температурным диапазонам:
а) Архангельская обл.; б) Мурманская обл.**

В дальнейшем для уточнения в каждом температурном диапазоне произведем разбивку всех данных на группы с высоким, средним и низким уровнем аварийности. К дням с низкой аварийностью отнесем дни, количество аварий в которые меньше среднего значения Q за рассматриваемый период. К дням со средним уровнем аварийности отнесем дни, когда уровень аварийности был заключен в интервале от Q до $1,5Q$, высокий уровень – дни с аварийностью, превышающей $1,5Q$. Распределение дней по температурным диапазонам представлено в табл. 8.

Таблица 8

Распределение уровня аварийности по температурным диапазонам

Город	Температурный диапазон	Количество дней					
		с низким уровнем аварийности		со средним уровнем аварийности		с высоким уровнем аварийности	
Архангельская область	0; 5	41	39,4 %	39	37,5 %	24	23,1 %
	-2; 0	38	39,6 %	41	42,7 %	17	17,7 %
	-4; -2	25	36,8 %	26	38,2 %	17	25,0 %
	-6; -4	13	26,0 %	25	50,0 %	12	24,0 %
	-10; -6	29	33,7 %	34	39,5 %	23	26,7 %
	-15; -10	20	29,9 %	31	46,3 %	16	23,9 %
	< -15	28	43,1 %	29	44,6 %	8	12,3 %
Мурманская область	0; 5	25	43,9 %	22	38,6 %	10	17,5 %
	-2; 0	29	43,9 %	27	40,9 %	10	15,2 %
	-4; -2	35	47,9 %	29	39,7 %	9	12,3 %
	-6; -4	33	53,2 %	21	33,9 %	8	12,9 %
	-10; -6	60	51,3 %	45	38,5 %	12	10,3 %
	-15; -10	33	44,6 %	32	43,2 %	9	12,2 %
	< -15	29	51,8 %	22	39,3 %	5	8,9 %

В зимний период в Архангельской обл. преобладают дни с аварийностью близкой к средней, в 22 % – дни с высокой аварийностью, в Мурманской обл. в половине случаев наблюдаются дни с низкой аварийностью и в 12,5 % – дни с высокими показателями числа ДТП (рис. 7).

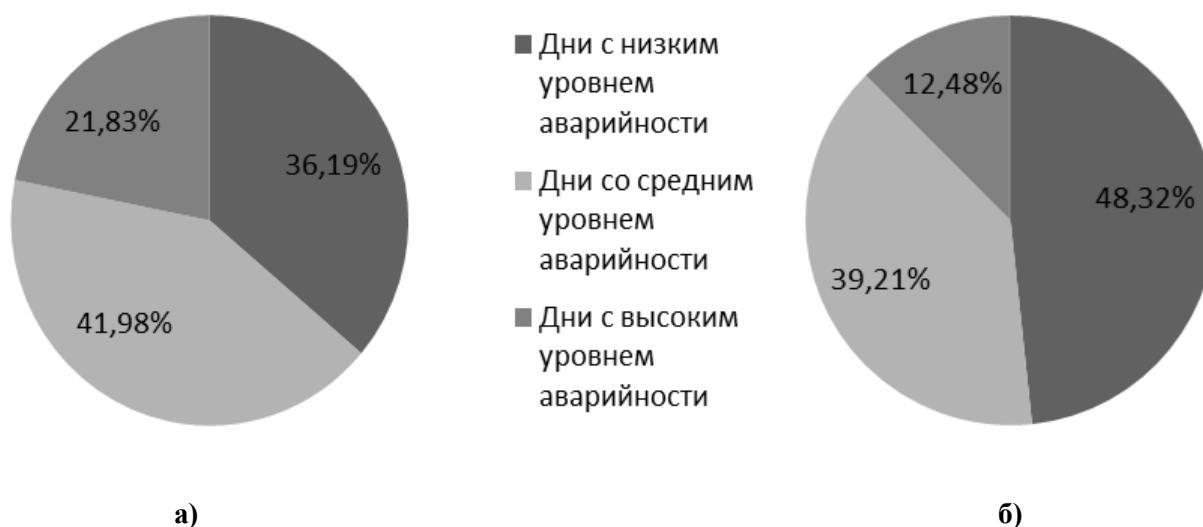


Рис. 7. Распределение дней по уровню аварийности:
а) Архангельская обл.; б) Мурманская обл.

Построение критерия

В качестве исходных данных рассматриваются следующие параметры:

1) $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ – значения величин погодных факторов (Т, Р₀, U, ΔТ, ΔР₀, ΔU, Ff) для проверяемого дня;

2) $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4, \bar{x}_5, \bar{x}_6, \bar{x}_7$ – средние значения соответствующих величин погодных факторов в каждом температурном диапазоне;

3) $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7$ – значения коэффициентов корреляции, которые отражают взаимосвязь соответствующего погодного фактора и количества ДТП;

4) $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6, \sigma_7$ – среднеквадратические отклонения соответствующих величин погодных факторов в каждом температурном диапазоне.

Расчетное значение критерия формально выражается функцией (1):

$$K_{расч} = K(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7) = \sum_{i=1}^n \frac{x_i - \bar{x}_i}{\sigma_i} \cdot r_i, \quad (1)$$

где x_1 – значение фактора температуры, °С;

x_2 – значение фактора давления, мм рт. ст.;

x_3 – значение фактора влажности, %;

x_4 – значение фактора разности температуры, °С;

x_5 – значение фактора разности давления, мм рт. ст.;

x_6 – значение фактора разности влажности, %;

x_7 – значение фактора скорости ветра, м/с.

Условие выполнения критерия (2):

$$K_{расч} < K_{кр} \quad (2)$$

Экспериментальным путем найдены критические значения критерия $K_{кр}$ для каждого диапазона (табл. 8), таким образом, чтобы для большинства дней с высокой аварийностью расчетное значение превышало критическое, но в то же время для дней с низкой аварийностью расчетное значение не превышало критическое.

Таблица 9

Критические значения критерия

Температурный диапазон	Критическое значение критерия $K_{кр}$	
	Архангельская обл.	Мурманская обл.
0; 5	0,01	-0,07
-2; 0	-0,01	0,24
-4; -2	-0,12	-0,01
-6; -4	-0,12	0,1
-10; -6	0	0,15
-15; -10	0,01	0,17
< -15	0,01	0,13

Таким образом, если для некоторого дня неравенство $K_{расч} > K_{кр}$ выполняется, то полагаем, что в этот день будет наблюдаться повышенная аварийность. В противном случае значительного превышения среднего числа аварий наблюдаться не будет.

Вычисление характеристик точности прогноза

При построении прогноза возможны ошибки двух родов. Ошибка первого рода заключается в том, что был предсказан рост числа аварий, которого затем не последовало. Ошибка второго рода – рост количества ДТП предсказан не был, но по факту наблюдался. Для определения достоверности прогноза по каждой области была проведена проверка выполнения критерия и вычислены ошибки первого и второго рода, представлены количественные характеристики точности. Окончательные результаты сведены в табл. 9, 10.

Таблица 10

Результаты проверки критерия (Архангельская обл.)

температурный диапазон	Дни с низкой аварийностью		Дни с высокой аварийностью	
	количество дней	вероятность выполнения критерия	количество дней	вероятность выполнения критерия
0; 5	41	0,317	24	1
-2; 0	38	0,316	17	0,706
-4; -2	25	0,6	17	0,765
-6; -4	13	0,231	12	0,833
-10; -6	29	0,379	23	0,826
-15; -10	20	0,3	16	0,688
< -15	28	0,5	8	0,875
Итого	194	0,381	117	0,821

В результате ошибка второго рода составила 0,381, т.е., 38 % дней с низкой аварийностью ошибочно признаны аварийно-опасными, в то же время, дни с повышенным риском возникновения ДТП были выявлены с вероятностью 82 % (вероятность ошибки первого рода составила 0,179).

Таблица 11

Результаты проверки критерия (Мурманская обл.)

температурный диапазон	Дни с низкой аварийностью		Дни с высокой аварийностью	
	количество дней	вероятность выполнения критерия	количество дней	вероятность выполнения критерия
0; 5	25	0,28	10	0,8
-2; 0	29	0,276	10	0,8
-4; -2	35	0,371	9	1,0
-6; -4	33	0,303	8	0,75
-10; -6	60	0,167	12	0,5
-15; -10	33	0,091	9	0,889
< -15	29	0,241	5	0,8
Итого	244	0,238	63	0,778

Для Мурманской области ошибка второго рода составила 0,238, т.е., 24 % дней с низкой аварийностью ошибочно признаны аварийно-опасными, в то же время дни с повышенным риском возникновения ДТП были выявлены с вероятностью 78 % (вероятность ошибки первого рода составила 0,222). Схема применения критерия показана на рис. 8.



Рис. 8. Схема применения критерия

Заключение

Проведенное исследование с использованием методов математической статистики и корреляционного анализа показало, что средние показатели погодных факторов соответствуют климатической норме, выявлено наличие связи между числом ДТП и погодными факторами температурой ($^{\circ}$ С), давлением (мм рт. ст.), влажностью (%) и их суточными изменениями, а также скоростью ветра (м/с).

Для выявления дней с повышенной аварийной опасностью был предложен критерий (рис. 8), который с некоторой вероятностью, по прогнозным показателям погоды позволяет определить дни с высоким риском возникновения ДТП. Точность прогноза считается удовлетворительной.

Вернемся к схеме на рис. 1 и поясним логику работы подсистемы анализа погодных факторов интерактивной информационной системы:

- 1) прогнозная информация о погодных характеристиках автоматизировано поступает в базу данных;
- 2) происходит обработка данных методами, описанными в работе, с использованием динамических sql-запросов;
- 3) если сочетание факторов признается критическим, информация передается в подсистемы информирования и автоаннотирования;
- 4) в подсистеме автоаннотирования происходит обработка полученных данных и, с учетом данных подсистемы ГИС-анализа, формируются аннотированные сообщения, которые затем передаются навигационной подсистеме и подсистеме визуализации маршрута;
- 5) подсистема информирования передает данные на мобильные устройства и на придорожные информационные табло.

В перспективе планируется использование результатов исследования для определения значения безопасной скорости движения в электронных знаках.

Библиографический список

1. **Daito, Real** Time Accident Risk Information Provision on a Urban Expressway Network: Prediction Model Analysis and Development of a Provision System / Daito, Kodama, Ozawa // Proceedings of the 51st Spring Conference of the Committee of Infrastructure Planning and Management, 2015.
2. **DeLucia, B.H.** E-Crash: The Model Electronic Crash Data Collection System / B.H. DeLucia, R.A. Scopatz // Report DOT HS 811 326, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Washington, DC, 2010.
3. **Khan, G.** Application and Integration of Lattice Data Analysis, Network K-Functions, and Geographic Information System Software to Study Ice-Related Crashes / G. Khan, K.R. Santiago-Chaparro, X. Qin, D.A. Noyce // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 2009. – № 2136. – P. 67-76.
4. **Eliseev, M.E.** Virtual Reality and Navigation subsystems of the Interactive System for Road Safety Improving / M.E. Eliseev, T.N. Tomchinskaya, E.D. Galkina, N.Yu. Dudakov, R.A. Musarsky // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – С. 012027.
5. **Елисеев, М.Е.** Архитектура и стандартные реакции на внешние события интерактивной карты аварийности / М.Е.Елисеев, Т.Н. Томчинская, А.А. Репников, А.С. Блинов // Автотранспортное предприятие. Отраслевой научно-производственный журнал. – 2016. – №2. – С.34-27.
6. **Andrey, J.** Weather as a chronic hazard for road transportation in Canadian cities / J. Andrey, B. Mills, M. Leahy, J. Suggett // Nat. Hazards. – 2003. – Vol. 28. – P. 319-343.
7. **Asano, M.** Characteristics of traffic accidents in cold, snowy Hokkaido, Japan / M. Asano, M. Hirasawa // Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. – 2003. – Vol. 4 – P. 1426-1434.
8. **Bergel-Hayat, R.** Explaining the road accident risk: weather effects / R. Bergel-Hayat, M. Debbarh, C. Antoniou, G. Yannis // Accident Analysis and Prevention. – 2013. – Vol.60. – P. 456-465.
9. **Black, A.W.** Effects of winter precipitation on automobile collisions, injuries, and fatalities in the United States / A.W. Black, T.L. Mote // J. TranspGeogr. – 2015. – Vol.48. – P. 165-175.
10. **Keay, K.** Road accidents and rainfall in a large Australian city / K. Keay, I. Simmonds // Accident Analysis and Prevention. – 2006. – Vol. 38 (3). – P. 445-454.
11. **Keay, K.** The association of rainfall and other weather variables with road traffic volume in Melbourne, Australia / K. Keay, I. Simmonds // Accident Analysis and Prevention. – 2005. – Vol.37. – P. 109-124.
12. **Kilpeläinen, M.** Effects of weather and weather forecasts on driver behaviour / M. Kilpeläinen, H. Summala // Transportation Research. Part F. – 2007. – Vol. 10. – P. 288-299.
13. **Norrman, J.** Relationships between road slipperiness, traffic accident risk and winter road maintenance activity / J. Norrman, M. Eriksson, S. Lindqvist // Climate Research. – 2000. – Vol. 15. – P. 185-193.
14. **Songchitruksa, P.** Assessing weather, environment, and loop data for real-time freeway incident prediction / P. Songchitruksa, K.N. Balke // Transport Research Record – 2006. – Vol. 1959. – P. 105-113.
15. **Theofilatos, A.** A review of the effect of traffic and weather characteristics on road safety / A. Theofilatos, G. Yannis // Accident Analysis and Prevention. – 2014. – Vol.72. – P. 244-256.
16. Госавтоинспекция [официальный сайт]. – Режим доступа: <https://гибдд.рф/>, свободный.
17. Расписание погоды [официальный сайт]. – Режим доступа: <https://rp5.ru>, свободный.

*Дата поступления
в редакцию: 19.04.2020*

M.E. Eliseev, L.N. Mazunova, I.N. Eliseeva

**ABOUT SUBSYSTEM OF ANALYSIS OF WEATHER-RELATED FACTORS
OF INTERACTIVE SYSTEM OF ROAD SAFETY IMPROVEMENT**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev

Purpose: constructing of the criteria which allows to distinguish with some degree of probability among all days of the winter period those where the number of accidents exceeds the average by more than 50 per cent.

Approach: the correlation method assesses the close relationship between the weather factors themselves and the number of accidents, selection of weather data relevant for the study is holding.

Findings: critical values for each temperature diapason were found experimentally, and the accuracy of the calculation has been assessed

Research limitations: the proposed criterion can be applied to reduce the risk of accidents through timely and immediate remediation of the effects of weather and informing road users about the deterioration of road conditions.

Originality: the structural results are new.

Key words: road safety, accident, road accident, interactive system, geographic information system, GIS, weather, meteorological factors, correlation analysis.