

Научная статья
УДК 656.13
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-5-726-735>
EDN: LZYMYE



ИССЛЕДОВАНИЕ ШИРОТ ИНТЕРВАЛОВ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГНОЗА ИНТЕНСИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

И.Н. Пугачев¹, Н.Г. Шешера² ✉, Д.Е. Григоров³

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Хабаровский Федеральный исследовательский центр
Дальневосточного отделения Российской академии наук (ХФИЦ ДВО РАН),
г. Хабаровск, Россия

^{2,3}Дальневосточный юридический институт МВД России имени И.Ф. Шилова
(ДВЮИ МВД России имени И.Ф. Шилова),
г. Хабаровск, Россия
✉ ответственный автор
kolyaka239@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Сложная система взаимодействия характеристик системы Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда (ВАДС) является предметом исследований ученых всего мира. Если объяснить закономерности явлений, присутствующих при совершении ДТП, то можно смоделировать некоторые транспортные процессы. Для этого необходимо рассмотреть большое количество признаков, разделяя их на статические и динамические. Особое внимание уделяется последним, из-за нестабильности состояния характеристик. К этой категории относятся интенсивность транспортного потока и погодные условия. Существует немало методов по повышению точности прогностических моделей, но такой применяется впервые. Главная особенность данного метода – логическая и статистическая обоснованность автоматизации подбора широт интервалов. Это необходимо не только для группировки признаков, но и для повышения их значения при совместном анализе. Например, для интенсивности транспортных потоков ширина может быть 100 авт/час (0-100, 101-200, 201-300 и т.д.), но она не будет эффективна с прогностической точки зрения для ширины интервала температуры воздуха 5°C (-25 - -20, -19 -15, -14 - 10 и т.д.). Соответственно, целью работы стало определение эффективных прогностических широт интервалов интенсивности транспортного потока (зависимый признак) и погодных условий (независимые признаки).

Материалы и методы. Данная работа является продолжением большого проекта по повышению безопасности дорожного движения, в котором уже проводились подобные исследования, для определения эффективных широт интервалов с использованием ранговой корреляции Спирмена. Установлены значения, при которых температурные режимы (воздуха, почвы и точки росы) лучше всего описывают интенсивность транспортного потока. Для комплексной характеристики потребовалось провести дополнительный анализ оставшихся независимых признаков. Созданы новые алгоритмические структуры с использованием языка программирования Python, в которых последовательно сравнивались установленные широты интервалов признаков таким образом, чтобы отработать все возможные их комбинации. Каждый результат подвергался корреляционному анализу, и рассчитывалась вероятность ошибки.

Результаты. В результате экспериментального подбора широт интервалов определены самые эффективные из них. Критерием отбора стал последующий корреляционный анализ. Принимались значения коэффициента больше 0,7 или меньше -0,7. Также рассчитывалась вероятность ошибки, принимались значения меньше 0,05. Таким образом, получено большое количество комбинаций, отвечающих необходимым условиям. Далее для каждого признака подобрана та ширина интервала, при которой она чаще встречается с другими, а в случае одинакового количества встреч является наименьшей из них.

Заключение. В результате проделанной работы определены эффективные широты интервалов, в которых анализировались исследуемые признаки. Эта работа в последующих трудах способствовала качественному обучению модели. Благодаря чему была создана программа по прогнозу интенсивности транспортного потока, зависящей от показателей погодных условий, с использованием нейронных сетей.

© Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е., 2024



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автомобиль, ранговая корреляция Спирмена, погодные условия, интенсивность транспортного потока, эффективные широты интервалов, вероятность ошибки

БЛАГОДАРНОСТИ: выражаем благодарность рецензентам за объективный подход к оценке нашей работы.

Статья поступила в редакцию 24.06.2024; одобрена после рецензирования 20.08.2024; принята к публикации 17.10.2024.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е. Исследование широт интервалов признаков для повышения эффективности прогноза интенсивности транспортного потока // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 5. С. 726-735. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-5-726-735>

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-5-726-735>

EDN: LZMYE

STUDY OF THE INTERVAL WIDTH OF FEATURES FOR IMPROVING FORECASTING EFFICIENCY OF THE TRANSPORT FLOW INTENSITY

Igor N. Pugachev¹, Nikolay G. Sheshera² ✉, Denis Ye. Grigorov³

¹Federal State Budgetary Institution of Science

Khabarovsk Federal Research Center

Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

(KhFRC FEB RAS),

Khabarovsk, Russia

^{2,3}Far Eastern Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after I.F. Shilov

(FELI MIA of Russia named after I.F. Shilov),

Khabarovsk, Russia

✉ corresponding author

kolyaka239@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. The complicated system of characteristic interaction between the Driver-Car-Road-Environment (DCRE) is the research subject for the scientists around the world. If we explain the patterns of phenomena present during road accidents, we will be able to model some transport processes. To do this, we need to consider a large number of characteristics, dividing them into static and dynamic. Particular attention is paid to the latter, due to the instability of the features. This category includes traffic flow intensity and weather conditions. There are a lot of methods for increasing the accuracy of predictive models, but this method has been used for the first time. Logical and statistical validity of the selection automation of interval ranges are the main feature of this method. This is necessary not only for grouping features, but also for increasing their value in a joint analysis. For example, for the intensity of traffic flows the index number can be 100 vehicles/hour (0-100, 101-200, 201-300, etc.), but it will not be effective from a prognostic point of view for the temperature interval index of 5°C (-25 - -20, -19 -15, -14 - 10, etc.). Accordingly, the goal of the work was to determine the effective forecasting of the interval's width of traffic flow intensity (dependent feature) and weather conditions (independent features).

Materials and methods. This work is a continuation of a large project on improving road traffic safety, in which similar studies have already been conducted to determine the effective interval coefficients using Spearman's rank correlation. The values at which temperature regimes (air, soil and dew point) best describe the intensity of the traffic flow were established. For a comprehensive characterization, additional analysis was necessary to conduct of the remaining independent features. New algorithmic structures were created using the Python programming language, in which the established feature interval ranges were sequentially compared in such a way as to process all possible combinations. Each result was subjected to correlation analysis, and the probability of error was calculated.

© Pugachev I.N., Sheshera N.G., Grigorov D.Ye., 2024



Content is available under the license

Creative Commons Attribution 4.0 License.

Results. As a result of the experimental selection of interval ranges, the most effective of them were determined. The selection criterion was the subsequent correlation analysis. The coefficient values greater than 0.7 or less than -0.7 were accepted. The probability of error was also calculated, and values less than 0.05 were accepted. Thus, a large number of combinations were obtained that meet the necessary conditions. Further, for each feature, the interval width was selected at which it is more often intersected with others, and in the case of the same number of intersections, it is the smallest of them.

Conclusion. As a result, effective interval widths were determined in which the investigated features had been analyzed. This study in subsequent works contributed to the high-quality training of the model using the deep learning method. Thanks to this research, a program to predict the intensity of the traffic flow, depending on weather conditions with using neural networks was created.

KEYWORDS: vehicle, Spearman's rank correlation, weather conditions, traffic flow intensity, effective interval width, error probability

ACKNOWLEDGEMENTS: we express our gratitude to the reviewers for their objective approach to evaluating our work.

The article was submitted: 24.06.2024; approved after reviewing: 20.08. 2024; accepted for publication: 17.10. 2024.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Pugachev I.N., Sheshera N.G., Grigorov D.Ye. The study of the interval width of features for improving forecasting efficiency of the transport flow intensity. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (5): 726-735. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-5-726-735>

ВВЕДЕНИЕ

Система ВАДС представляет собой взаимодействие между водителем, автомобилем, дорогой и окружающей средой в процессе функционирования улично-дорожной сети (УДС)¹ [1].

Водитель – центральный элемент системы ВАДС. Это человек, который управляет автомобилем и принимает решения на дороге. От его навыков и знаний зависит безопасность всех участников дорожного движения.

Автомобиль в системе ВАДС играет роль транспортного средства, обладающего определенными характеристиками и техническим состоянием.

Дорога – это инфраструктура, предназначенная для движения автомобилей. В рамках системы ВАДС дорога должна быть правильно размечена, освещена и обозначена, чтобы обеспечить информированность водителей и их безопасность.

Среда в системе ВАДС является важным аспектом безопасности и эффективности дорожного движения. Окружающая обстановка может создавать различные условия, которые влияют на поведение водителя, состояние автомобиля и безопасность на дороге в целом.

Одно из основных влияний среды – это погодные условия. Дождь, снег, гололед, туман

и другие атмосферные явления могут существенно ограничить видимость и усложнить управление автомобилем. Водители не всегда способны адаптировать свой стиль вождения к текущим условиям. Подверженность шуму и длительное воздействие загрязненного воздуха могут оказывать негативное влияние на здоровье [2].

Сложно организованная система факторов ВАДС определяет статические и динамические, главные и второстепенные признаки. Взаимодействие между ними может затруднить понимание и изучение причинно-следственных связей, так как эффект одного фактора может проявляться только при наличии или влиянии других. Примером может служить направление и скорость ветра. Вторым является главным признаком, без которого не может существовать первый.

В таких случаях роль статистического анализа и моделирования становится важной. С помощью этих методов можно определить силу влияния каждого фактора на итоговый результат.

Закономерности взаимодействия характеристик УДС и погодных условий сложны, и понимание их может быть непростой задачей. Дополнительные исследования и эксперименты необходимы для углубленного изучения

¹ Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов. М.: Транспорт, 1993. 271 с.

сложных связей системы ВАДС [3, 4, 5]. Поэтому работа актуальна с научной и практической точки зрения. Главной ее особенностью является повышение качества прогностической модели на стадии подготовки данных. Цель работы – определение эффективных прогностических широт интервалов интенсивности транспортного потока (зависимый признак) и погодных условий (независимые признаки).

Забегая вперед, стоит отметить, что конечная цель была охарактеризовать и обобщить интенсивность транспортного потока с позиции погодных условий. Этого удалось добиться с использованием методов машинного обучения [6]. Благодаря качественной подготовке данных, была сформирована точная прогностическая модель. Одной из таких подготовок является анализ широт интервалов интенсивности транспортного потока и погодных условий.

Исследования подобного рода были проведены ранее [7]. Определены эффективные широты прогностических интервалов для совокупности признаков интенсивности транспортных потоков и температурных режимов (температура воздуха, почвы и точки росы). В данной работе представлена алгоритмическая концепция широт интервалов остальных показателей погодных условий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования был собран большой объем статистических данных в часовых интервалах времени с 2016 по 2021 г.

Интенсивность транспортного потока рассчитана с использованием программно-аппаратного комплекса Интегра-КДД. Исследования проводились в г. Хабаровске, на территории которого ввели в эксплуатацию 107 рубежей контроля автомобильного потока данного комплекса, с них и были получены данные. Автоматизированный подход предусматривает фиксацию каждого автомобиля, проехавшего через рубеж контроля видеокамеры по государственному регистрационному знаку, принимая его за единицу без деления по видам транспорта. Этот недостаток нивелируется высокой точностью подсчета транспортных средств. Все учтенные автомобили с 2016 по 2021 г. были сгруппированы в часовых интервалах, что позволило сформировать базу данных более чем из 500 тыс. записей. Записи несли информацию не только

об интенсивности транспортного потока, но и о геометрических элементах дорог, в которых функционировали рубежи контроля.

Погодные условия предоставлены Департаментом Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды по Дальневосточному федеральному округу с метеорологической станции Хабаровск.

Перед обработкой данных потребовалась нормализация значений для использования их в унифицированной шкале или бинаризации [8, 9]. Методом изолированного леса проведена очистка от случайных выбросов, интерполированы значения в часовых интервалах времени, соединены данные с различных информационных ресурсов [9].

Было решено определить эффективные широты интервалов зависимого и независимых признаков методом автоматизированного подбора и аналитического сравнения признаков с использованием ранговой корреляции Спирмена [10, 11]. Суть выбранного метода заключается в определении признаков рангов в порядке возрастания для интервалов. По ним исследуемые факторы сравниваются друг с другом [12]. Для автоматизации на языке программирования Python был написан алгоритм циклического сравнения рангов [13]. В цикле определяется коэффициент корреляции (ранговая корреляция) между признаками. Каждый последующий цикл изменяет ширину одного признака, и исследование проводится повторно. Широты интервалов заранее были подготовлены в виде списка. После окончания списка одного признака начинался список другого. Таким образом, каждая ширина интервала сравнивалась со всеми другими во всех возможных комбинациях. На каждом цикле определялся не только коэффициент корреляции, но и вероятность ошибки (p) [14].

Для демонстрации эффективности исследований использована выборка из массива данных (Restruct_25.xlsx) с рубежа контроля 1311 пересечения улиц Муравьева Амурского – Дзержинского г. Хабаровска, содержащая 8115 записей об интенсивности и погодных условиях в период и в пределах работы камеры в часовых интервалах времени (рисунок 1).

Программная реализация исследования осуществлена в среде разработки PyCharm на языке программирования Python. Полный код приведен на портале GitHub².

² GitHub. https://github.com/glowfisch8lan/spearman_analysis

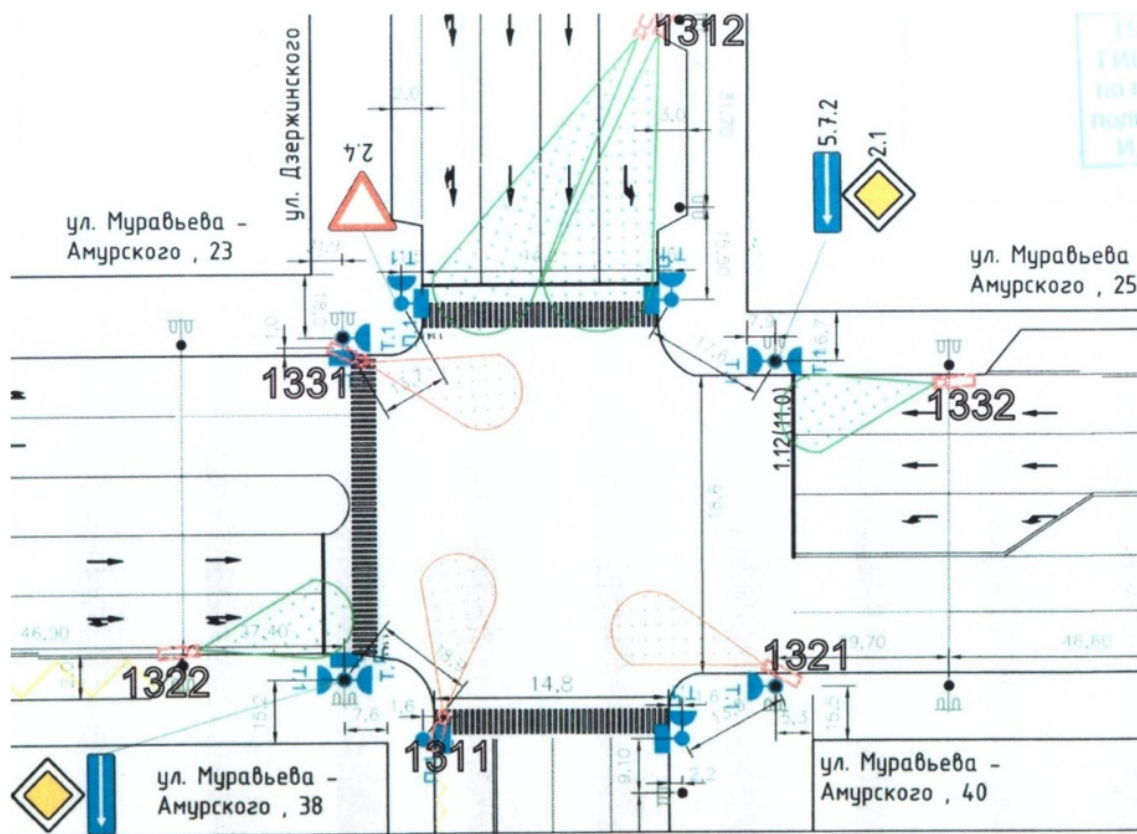


Рисунок 1 – Схема перекрестка с установленными на нем рубежами контроля полос (1311, 1321, 1331)
 Источник: Хабаровский научный производственный центр организации дорожного движения.

Figure 1 – Diagram of the road intersection with the boundaries of control lanes established on it (1311, 1321, 1331)

Source: Khabarovsk Research and Production Traffic Control Center.

Импортированы необходимые библиотеки Python (datetime, pandas, spearmanr и numpy) для работы. Из директории виртуального окружения загружен файл (Restruct_25.xlsx).

На этапе предварительной обработки данных из выборки удалены колонки, ненужные в исследовании, и не информативные значения преобразованы в числовой формат.

Подготовлены итерируемые списки для всех показателей с целью подбора различных вариантов широт интервалов погодных условий и интенсивности транспортного потока:

- интенсивность транспортного потока, авт/час (100, 200, 250, 300, 400, 500, 600);
- температуры воздуха, почвы и точки росы, °C (5, 10, 15, 20, 25);
- время суток (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23);
- день недели (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7);
- парциальное давление водяного пара, гПа (5, 10, 15);

- относительная влажность воздуха, % (10, 20, 30, 50);
- дефицит насыщения, г/м³ (5, 10, 15);
- атмосферное давление на уровне станции и моря, гПа (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50);
- скорость ветра, м/с (2, 3, 4, 5);
- осадки, мм (2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15).

Для анализа влияния скорости ветра на интенсивность транспортного потока были разработаны 8 групп показателя – направление ветра, и приняты следующие широты интервалов к нему [15, 16]:

- С – 337.5...22.5 = 1;
- СВ – 22.5...67.5 = 2;
- В – 67.5...112.5 = 3;
- ЮВ – 112.5...157.5 = 4;
- Ю – 157.5...202.5 = 5;
- ЮЗ – 202.5...247.5 = 6;
- З – 247.5...292.5 = 7;
- СЗ – 292.5...337.5 = 8.

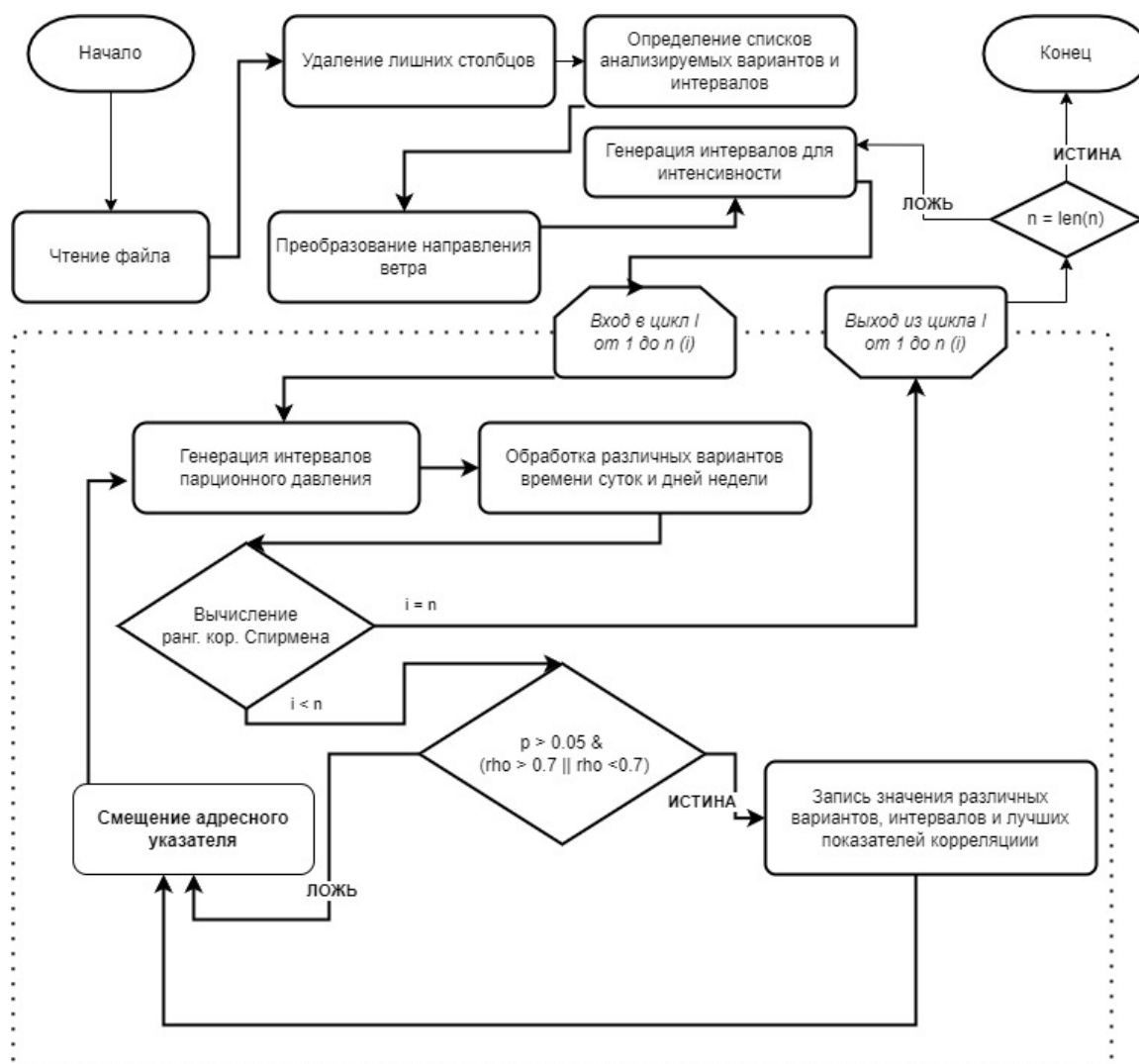


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма анализа широт интервалов с использованием ранговой корреляции Спирмена
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Flowchart of the algorithm for analyzing interval width with the use of Spearman's rank correlation
Source: compiled by the authors.

Вероятность ошибки Спирмена, также известная как уровень значимости, или p -значение, является статистической мерой, которая используется для определения значимости между двумя наборами данных. Она оценивает вероятность получения наблюдаемой или более экстремальной корреляции, если нулевая гипотеза (отсутствие корреляции) верна.

Обычно, если значение p меньше определенного уровня значимости (например, 0,05), нулевая гипотеза отвергается, корреляция считается статистически значимой.

Важно понимать, что вероятность ошибки (p -значение) не определяет силу или величину корреляции, а является статистической мерой

значимости. Более низкое значение p указывает на большую уверенность в отвержении нулевой гипотезы и наличии корреляции.

При помощи функций `for` (управляющая конструкция, которая позволяет выполнять повторяющиеся операции или действия определенное количество раз) перебираются списки широт интервалов и уникальных значений таким образом, чтобы каждая функция внутри себя запускала другую. Принцип вложенности можно объяснить аналогией – в каждом часе перебираются минуты, в каждой минуте секунды. Таким образом, мы строим дерево уникальных комбинаций.

Таблица

Значимые результаты парной ранговой корреляции Спирмена широт парционного давления водяного пара и интенсивности транспортного потока
Источник: составлено авторами.

Table

Significant results of Spearman's pairwise rank correlation of water vapor partial pressure parameter width and intensity of transport flow
Source: compiled by the authors.

Вероятность ошибки (p)	Коэффициент корреляции	Широты интервалов	
		Интенсивности транспортного потока авт/час	Парционного давления водяного пара (%)
3.07E-07	-0.72227	100	5
1.56E-09	-0.77606	100	5
3.61E-08	-0.73204	200	5
3.60E-07	-0.71204	250	5
2.77E-07	-0.72411	300	5

Главной задачей было определить лучшую статистическую взаимосвязь широт интервалов между зависимым и независимым признаком в разные показатели времени суток и дней недели. Использовался парный корреляционный анализ для погодных условий. По окончании работы циклической функции программа определяла самые эффективные широты интервалов для интенсивности транспортного потока и одного из показателей погодных условий.

Чтобы не нагружать работу лишней информацией, на рисунке 2 приведен только пример алгоритма исследования широт интервалов интенсивности транспортного потока и парционного давления водяного пара при различных показателях времени суток и дней недели.

Лучшие результаты парной ранговой корреляции Спирмена и соответствующие им эффективные широты интервалов приведены в таблице.

По таблице можно сделать вывод о том, что лучший интервал парционного давления 5%, при этом ширина интенсивности транспортного потока может быть 100, 200, 250, 300 авт/час. Дальнейшая оценка качества рассматриваемой пары признаков может проходить по величине коэффициента ранговой корреляции Спирмена или вероятности ошибки (p). Но для начала было необходимо определить широты интервалов для остальных признаков погодных условий в паре с интенсивностью [17, 18].

Структура программы уже построена, и дальнейший анализ парной ранговой корреляции Спирмена между широтами интервалов интенсивности транспортного потока и остальных погодных условий проводился путем подмены ключевой циклической функции for для каждого признака.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Цель – определение эффективных широт интервалов влияния независимых переменных на зависимую достигнута с использованием ранговой корреляции Спирмена.

Так как главный показатель – интенсивность транспортного потока, то в первую очередь необходимо рассматривать широты интервала именно этого параметра, руководствуясь вероятностью ошибки и коэффициентом корреляции.

Из рассматриваемой выборки, с учетом различных дней недели и времени суток, было получено 243 варианта. Из них:

- 60 вариантов с шириной 100 авт/час;
- 75 вариантов с шириной 200 авт/час;
- 21 вариант с шириной 250 авт/час;
- 47 вариантов с шириной 300 авт/час;
- 40 вариантов с шириной 400 авт/час.

Чаще всего встречается ширина интервала 200 авт/час, и для достоверности дальнейшего исследования было бы рационально использовать его, но при дальнейшем корреляционном анализе остальных погодных и природных характеристик она не показалась эффективной.

Ширина интервала 250 авт/час единственная, которая является значимой при анализе всех рассматриваемых погодных условий и природных явлений, для интенсивности транспортного потока принимаем ее. Широты остальных признаков отбираются с шириной интервала интенсивности транспортного потока 250 авт/час таким образом, чтобы они чаще встречались в обозначенном ограничении и были эффективны (коэффициент корреляции больше 0,7 или меньше -0,7, и вероятность ошибки была меньше 0,05, в исключительных случаях допускался порог коэффициента корреляции от 0,6). Если есть показатели, которые

в ширине интервала интенсивности 250 авт/час встречаются одинаковое количество раз, то приоритет отдается наименьшей независимого признака. Это позволило получить более подробную детализацию при дальнейшем исследовании [19, 20].

Учитывая полученные данные корреляционного анализа и установленные правила отбора, приведенные на рисунке 2 (принимались значения коэффициента больше 0,7 или меньше -0,7 рассчитывалась вероятность ошибки, принимались значения меньше 0,05), были выбраны следующие широты интервалов для зависимого и независимых признаков:

- интенсивность транспортного потока (N) – 250 авт/час;
- температура воздуха ($t_{\text{воздуха}}$) – 5 °C;
- температура почвы ($t_{\text{почвы}}$) – 5 °C;
- температура точки росы (DP) – 5 °C;
- парциальное давление водяного пара (p_s) – 5 Па;
- относительная влажность воздуха (ϕ) – 50%;
- дефицит насыщения (d) – 5 г/м³;
- атмосферное давление на уровне станции ($P_{\text{станции}}$) – 30 г.Па;
- атмосферное давление на уровне моря ($P_{\text{моря}}$) – 45 г.Па;
- скорость ветра – 2 м/с;
- осадки – 2 мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существует большое количество статистических методов обобщения для прогнозирования. Самыми эффективными из них на сегодняшний день являются методы машинного обучения, для применения которых необходимо подготовить данные [21, 22]. Кроме очистки от случайных выбросов, отсутствующих значений и т.п., требуется определить интервалы признаков, в которых будут проходить исследования. Как показала практика, независимый признак может не оказывать влияние на зависимый, пока и тот и другой не будет сгруппирован в интервалы. При этом силу влияния друг на друга можно повысить, укрупнив их. С этим надо быть осторожнее, так как чем крупнее интервал, тем меньше информативность, но точнее прогноз. И, наоборот, с уменьшением интервала повышается детализация, но из-за большого количества параметров сложнее построить достоверную модель. Соблюдая баланс между качеством (детализированной характеристикой) и точностью, необходимо руководствоваться такими параметрами, как коэффициент ранговой корреляции Спирмена и вероятностью ошибки (p). В данной работе порог был выставлен для коэффициента корреляции $>0,7$

или $<-0,7$, что характеризуется в общепринятом классификаторе как сильная связь, а для вероятности ошибки $p < 0,05$, это означает, что у отобранных признаков вероятность случайной связи менее 5%.

В результате построенной алгоритмической структуры получилось выполнить сложные математические расчеты по поиску наилучших широт интервалов. Забегая вперед, стоит отметить, что данный подход позволил качественно подготовить модель методом глубокого обучения [23, 24].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сайдуллозода С.С., Гаврилов К.В., Умирзиков А.М., Уланов А.Г. Оценка эффективности функционирования системы Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда по энергетическим показателям // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2021. Т. 21, № 4. С. 61–70.
2. Sfyridis A., Agnolucci P. Factors affecting road traffic: identifying drivers of annual average daily traffic using least absolute shrinkage and selection operator regression // Transportation Research Record. 2023. Т. 2677. № 5. С. 1178–1192. <https://doi.org/10.1177/03611981221141435>.
3. Rudenko D., Renkas A., Tovaryansky V. Assessment of the impact of road conditions on accidents with the application of the multifactor model // Bulletin of Lviv State University of Life Safety. 2022. Т. 24. С. 33–39. DOI: <https://doi.org/10.32447/20784643.24.2021.04>.
4. Luo Y., Chen Ya., Lu K., Chen L., Zhang J., Physica A. Modeling and analysis of heterogeneous traffic flow considering dynamic information flow topology and driving behavioral characteristics // Statistical Mechanics and its Applications. 2024. Т. 637. С. 129521. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2024.129521>.
5. Hao W., Rong D., Zhang Zh., Byon Y.Ji., Lv N., Chen Y. Stability analysis and speed-coordinated control of mixed traffic flow in expressway merging area // Journal of Transportation Engineering Part A: Systems. 2022. Т. 148. № 11. <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000755>.
6. Зацерковный А.В., Нурминский Е.А. Нейросетевой анализ транспортных потоков городских агломераций на основе данных публичных камер видеонаблюдения // Компьютерные исследования и моделирование. 2021. Т. 13, № 2. С. 305–318.
7. Пугачев И.Н., Евтюков С.С., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е. Прогноз интенсивности транспортного потока. Обучение с учителем. Метод случайных деревьев // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Том 18, № 4. С. 36–47.
8. Пугачев И.Н., Шешера Н.Г., Григоров Д.Е. Определение эффективных широт интервалов влияния температурных режимов на интенсивность транспортного потока с использованием ранговой корреляции Спирмена // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Том 18, № 3. С. 34–40.
9. Rahmanov F., Lala Neymatova L.N., Aliyeva R., Hashimova A. Management of the transport infrastructure of global logistics: cross-country analysis // Marketing and Management of Innovations. 2022. Т. 13. № 4. С. 65–75.

10. Jun-Fang S., Yan Ch. Traffic flow state prediction based on space-time correlation of vehicle trajectory using the deep hybrid model // *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. 2023. T. 44. № 4. С. 6855-6863. <https://doi.org/10.3233/jifs-212998>.
11. Qin Ya., Luo Q., Wang H. Stability analysis and connected vehicles management for mixed traffic flow with platoons of connected automated vehicles // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2023. T. 157. С. 104370. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104370>.
12. Purba L.I., Humaidi S., DarmawanYa. Analysis of spearman rank correlation & linear regression of atmospheric stability and cloud tops temperature of himawari-8 ir satellite images (case study of hail on may 22, 2022) // *Prisma Sains : Jurnal Pengkajian Ilmu dan Pembelajaran Matematika dan IPA IKIP Mataram*. 2023. T. 11. № 2. С. 476. DOI: <https://doi.org/10.33394/j-ps.v11i2.7818>.
13. Rahmani F., Fattahi M.H. A multifractal cross-correlation investigation into sensitivity and dependence of meteorological and hydrological droughts on precipitation and temperature // *Natural Hazards*. 2021. DOI: [10.1007/s11069-021-04916-1](https://doi.org/10.1007/s11069-021-04916-1).
14. Xu Zh., Wang R., Pan K., Li J., Wu Q. Two-stream networks for copert correction model with time-frequency features fusion // *Atmosphere*. 2023. T. 14. № 12. P. 1766. <https://doi.org/10.3390/atmos14121766>.
15. Wang H., Yan J., Yan X. Spearman rank correlation screening for ultrahigh-dimensional censored data // *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. 2023. T. 37. № 8. P. 10104-10112. DOI: <https://doi.org/10.1609/aaai.v37i8.26204>.
16. Гасилова О.С., Бородулин И.В., Старков В.В. Анализ интенсивности движения транспортных средств в местах разделения транспортных потоков // *Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета*. 2022. № 2 (76). С. 250–254.
17. Бояршинов М.Г., Вавилин А.С. Исследование интенсивности транспортного потока с использованием индекса Хёрста // *Химия. Экология. Урбанистика*. 2022. Т. 3. С. 187–191.
18. Новикова М.Н. Влияние отдельных условий на безопасность дорожного движения начинающих водителей // *Безопасность дорожного движения*. 2021. № 4. С. 49–52.
19. Pilipets O.O. Structural peculiarities of intelligent transport systems development in the Russian federation // *Young Don Researcher*. 2023. № 2 (41). С. 55-61.
20. Бояршинов М.Г., Вавилин А.С., Васькина Е.В. Применение Вейвлет-анализа для исследования интенсивности транспортного потока // *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. 2022. № 4. С. 88–103.
21. Бояршинов М.Г. Цифровая обработка данных системы видеофиксации нарушений правил дорожного движения // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2022. № 3. С. 5–18.
22. Бутыркин А.Я., Гелис В.А., Куликова Е.Б. Особенности применения прогрессивных методов предиктивного моделирования для решения задач на транспорте // *Вестник Уральского государственного университета путей сообщения*. 2021. № 4 (52). С. 68–78.
23. Кадиев Ш.К. Результаты первичного анализа данных аварий на автомобильном транспорте и их подготовка для машинного обучения // *Технологии технологической безопасности*. 2023. № 4 (102). С. 146–156.
24. Совершенствование системы безопасности дорожного движения, стремящейся к нулевой смертности на автомобильных дорогах: монография / И.Н. Пугачев, Н.Г. Шешера, Д.Е. Григоров. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2024. 183 с.: ил. ISBN 978-5-262-00966-4.

REFERENCES

1. Saidullozoda S.S., Gavrillov K.V., Umirzokov A.M., Ulanov A.G. Assessing the efficiency of the Driver-Car-Road-Environment system based on energy indicators. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Mechanical Engineering*. 2021; T. 21. No. 4: 61-70. (in Russ)
2. Sfyrdis A., Agnolucci P. Factors affecting road traffic: identifying drivers of annual average daily traffic using least absolute shrinkage and selection operator regression. *Research Record*. 2023; T. 2677. No. 5: 1178-1192. <https://doi.org/10.1177/03611981221141435>.
3. Rudenko D., Renkas A., Tovaryansky V. Assessment of the impact of road conditions on accidents with the application of the multifactor model. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*. 2022; T. 24: 33–39. DOI: <https://doi.org/10.32447/20784643.24.2021.04>.
4. Luo Y., Chen Ya., Lu K., Chen L., Zhang J., Physica A. Modeling and analysis of heterogeneous traffic flow considering dynamic information flow topology and driving behavioral characteristics. *Statistical Mechanics and its Applications*. 2024; T. 637. P. 129521. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2024.129521>.
5. Hao W., Rong D., Zhang Zh., ByonY.Ji., Lv N., Chen Y. Stability analysis and speed-coordinated control of mixed traffic flow in expressway merging area. *Journal of Transportation Engineering Part A: Systems*. 2022; T. 148. No. 11. <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000755>.
6. Zatserkovny A.V., Nurminsky E.A. Neural network analysis of transport flows of urban agglomerations based on data from public video surveillance cameras. *Computer Research and Modeling*. 2021; T. 13, no. 2: 305–318. (in Russ)
7. Pugachev I.N., Evtyukov S.S., Sheshera N.G., Grigorov D.E. Forecast of traffic flow intensity. Training with a teacher. Random tree method. *T-Comm: Telecommunications and transport*. 2024; Volume 18. No. 4: 36–47. (in Russ)
8. Pugachev I.N., Sheshera N.G., Grigorov D.E. Determination of effective latitudes of intervals of influence of temperature regimes on the intensity of traffic flow using Spearman rank correlation // *T-Comm: Telecommunications and Transport*. 2024. Volume 18. No. 3. pp. 34–40. (in Russ)
9. Rahmanov F., LalaNeymatova L.N., Aliyeva R., Hashimova A. Management of the transport infrastructure of global logistics: cross-country analysis. *Marketing and Management of Innovations*. 2022; T. 13. No. 4: 65–75.
10. Jun-Fang S., Yan Ch. Traffic flow state prediction based on space-time correlation of vehicle trajectory using the deep hybrid model. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*. 2023; T. 44. No. 4: 6855-6863. <https://doi.org/10.3233/jifs-212998>.

11. Qin Ya., Luo Q., Wang H. Stability analysis and connected vehicles management for mixed traffic flow with platoons of connected automated vehicles. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2023; T. 157: 104370. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104370>.

12. Purba L.I., Humaidi S., DarmawanYa. Analysis of spearman rank correlation & linear regression of atmospheric stability and cloud tops temperature of himawari-8 ir satellite images (case study of hail on May 22, 2022). *PrismaSains: JurnalPengkajianIlmudanPembelajaranMatematikadan IPA IKIP Mataram*. 2023; T. 11. No. 2: 476. DOI: <https://doi.org/10.33394/j-ps.v11i2.7818>.

13. Rahmani F., Fattahi M.H. A multifractal cross-correlation investigation into sensitivity and dependence of meteorological and hydrological droughts on precipitation and temperature. *Natural Hazards*. 2021. DOI: 10.1007/s11069-021-04916-1.

14. Xu Zh., Wang R., Pan K., Li J., Wu Q. Two-stream networks for copert correction model with time-frequency features fusion. *Atmosphere*. 2023; T. 14. No. 12: 1766. <https://doi.org/10.3390/atmos14121766>.

15. Wang H., Yan J., Yan X. Spearman rank correlation screening for ultrahigh-dimensional censored data. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. 2023; T. 37. No. 8: 10104-10112. DOI: <https://doi.org/10.1609/aaai.v37i8.26204>.

16. Gasilova O.S., Borodulin I.V., Starkov V.V. Analysis of vehicle traffic intensity in places where traffic flows separate. *Scientific notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University*. 2022; No. 2 (76): 250–254. (in Russ)

17. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S. Study of traffic flow intensity using the Hurst index. *Chemistry. Ecology. Urbanism*. 2022; T. 3: 187–191. (in Russ)

18. Novikova M.N. The influence of certain conditions on road safety for novice drivers. *Road Safety*. 2021; No. 4: 49–52. (in Russ)

19. Pilipets O.O. Structural peculiarities of intelligent transport systems development in the Russian Federation. *Young Don Researcher*. 2023; No. 2 (41): 55–61. (in Russ)

20. Boyarshinov M.G., Vavilin A.S., Vaskina E.V. Application of Wavelet analysis to study the intensity of traffic flow. *Intellect. Innovation. Investments*. 2022; No. 4: 88–103. (in Russ)

21. Boyarshinov M.G. Digital processing of data from a video recording system for traffic violations. *Transport. Transport facilities. Ecology*. 2022; No. 3: 5–18. (in Russ)

22. Butyrkin A.Ya., Gelis V.A., Kulikova E.B. Features of the use of progressive methods of predictive modeling for solving problems in transport. *Bulletin of the Ural State University of Transport*. 2021; No. 4 (52): 68–78. (in Russ)

23. Kadiev Sh.K. Results of the primary analysis of accident data on road transport and their preparation for machine learning. *Technosphere Safety Technologies*. 2023; 4 (102): 146–156. (in Russ)

24. Pugachev I.N., Sheshera N.G., Grigorov D.E. Improving the road safety system striving for zero mortality on highways: monograph. Khabarovsk: Publishing-house DVGUPS, 2024. 183 p. (in Russ)

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Пугачев И.Н. Генерация идеи исследования, постановка задачи исследования, анализ результатов исследования, написание текста статьи.

Шешера Н.Г. Выполнение работы по систематизации материала, получение данных для анализа, анализ результатов исследования и подготовка данных, написание текста статьи.

Григоров Д.Е. Техническая поддержка проекта, написание кода на языке программирования Python, перевод.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Pugachev I.N. Generation of research ideas; statement of the research problem, analysis of the research results; writing the text of the article.

Sheshera N.G. Systematization of the material; obtaining data for analysis; processing and testing the results and data preparation; writing the text of the article.

Grigorov D.Ye. Technical support of the project, writing code in the Python programming language, translation.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пугачев Игорь Николаевич – д-р техн. наук, доц., зам. руководителя ХФИЦ ДВО РАН (680000, Россия, г. Хабаровск, ул. Дзержинского, 54), **ORCID**: <https://orcid.org/0000-0003-0345-4350>, **SPIN-код**: 1856-1556, e-mail: ipugachev64@mail.ru

Шешера Николай Геннадьевич – канд. техн. наук, доц. кафедры ИиТО ОВД ДВЮИ МВД России имени И.В. Шилова (680020, Россия, г. Хабаровск, пер. Казарменный, д. 15), **ORCID**: <https://orcid.org/00009-0006-3302-5572>, **SPIN-код**: 9869-8822, e-mail: kolyaka239@mail.ru

Григоров Денис Евгеньевич – начальник кабинета специальных дисциплин ИиТО ОВД ДВЮИ МВД России имени И.В. Шилова (680020, Россия, г. Хабаровск, пер. Казарменный, д. 15), **ORCID**: <https://orcid.org/0009-0005-4049-9488>, **SPIN-код**: 6146-4152, e-mail: glowfish8lan@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Pugachev Igor N. – Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the (KhFRC FEB RAS), (54 Dzerzhinsky str., 680000, Russia), **ORCID**: <https://orcid.org/0000-0003-0345-4350>, **SPIN-code**: 1856-1556, e-mail: ipugachev64@mail.ru

Sheshera Nikolay G. – Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Information and Technical Support of Internal Affairs Agencies of the Far Eastern Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after I.F. Shilov (15 Kazarmenny lane, 680020, Russia), **ORCID**: <https://orcid.org/00009-0006-3302-5572>, **SPIN-code**: 9869-8822, e-mail: kolyaka239@mail.ru

Grigorov Denis Ye. – head of the office of special disciplines of the Department of Information and Technical Support of Internal Affairs Agencies of the Far Eastern Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after I.F. Shilov (15 Kazarmenny lane, 680020, Russia), **ORCID**: <https://orcid.org/0009-0005-4049-9488>, **SPIN-code**: 6146-4152, e-mail: glowfish8lan@gmail.com