

## ТРАНСПОРТ

УДК 656.13

ПОСТРОЕНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИНДИКАТОРОВ  
ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ

С.В. СКИРКОВСКИЙ, А.Б. НЕВЗОРОВА

(Белорусский государственный университет транспорта, Гомель)

*Исследование направлено на выявление базисных индикаторов в виде переменных для анализа аварийных ситуаций в городских условиях с многофакторной точки зрения. Установлено, что из семи индикаторных переменных определяющими являются пять, на основе которых строится иерархическая система индикаторов для комплексной оценки дорожных аварийных ситуаций. Полученные результаты могут быть использованы при разработке проактивной системы обеспечения безопасности дорожного движения.*

**Ключевые слова:** аварийная ситуация, дорожно-транспортное происшествие, переменные, индикаторы.

**Введение.** На риск возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и тяжесть их последствий воздействует сочетание различных факторов. Особенности сочетания и их взаимовлияния на дороге должны рассматриваться как приоритетная задача для повышения безопасности дорожного движения [1; 2]. Такой подход к анализу аварийности позволит принимать решения, которые действительно будут способствовать устранению сторонних причин создания конфликтных ситуаций.

Реальные причины ДТП могут быть установлены только детальным анализом каждого происшествия, обстоятельств и событий, приведших к возникновению несчастного случая, и зная причины происшествий, можно их предотвратить.

Исследования ДТП [1; 5–7] позволяют сформировать вывод, что ДТП имеет несколько причин. При этом практически невозможно установить причину, которая стала решающей в конкретном происшествии.

Связи между факторами, влияющими на ДТП, и частотой ДТП статистически зависимы, поэтому изучение аварийности с привлечением дополнительных данных об изменении опасности в транспортном потоке необходимо для получения достоверных выводов об относительной важности факторов, влияющих на ДТП.

Традиционно в академических кругах и практических отчетах возникновение и эволюцию несчастных случаев на дороге исследуют с точки зрения самой аварии [8–10]. Однако до сих пор не существует общепринятой универсальной концепции понимания причин возникновения ДТП и их предотвращения. Исследователи, работающие в различных областях науки и техники, пытаются разработать этиологическую теорию ДТП и определить их непосредственные причины. И чтобы глубже понять многомерные характеристики аварийных ситуаций с несчастными случаями на дороге в городских условиях, необходимо провести их количественную оценку и выявить наиболее значимые индикаторные факторы.

**Цель работы** – анализ статистических данных по различным причинам возникновения ДТП для определения наиболее значимых факторов в их взаимосвязи и влиянии на комплексный показатель ДТП в городских условиях.

**Методология выполнения работы.** В работе использовался регрессионный анализ для выявления взаимосвязей между несчастными случаями и различными факторами, такими как погода, дорожные условия, поведение водителя и т.д. Регрессионный анализ позволяет выявить взаимосвязи между группой переменных. Сначала он анализирует функциональную связь между ними, а затем проверяет точность этой связи. В данной работе для исследования влияния отдельных факторов используются одиночная линейная регрессия и многомерный линейный регрессионный анализ [3].

**Результаты исследований**

*1 этап. Отбор данных по заданным критериям.* Источником информации для анализа послужила база данных ГАИ Гомельской области об отчетных дорожно-транспортных происшествиях, случившихся за последние десять лет.

Данные, представленные в виде числового кода базы данных, конвертировались в электронные таблицы. Из доступных более чем 2100 записей исключены те, по которым отсутствуют данные по ключевым переменным. В результате с помощью фильтрации и проверки достоверности информации было отобрано 828 записей с компонентами, относящимся к ДТП, приведшим к несчастным случаям.

После предварительного отбора и анализа принятых к рассмотрению данных в программе STATISTICA были выделены случайные и сторонние факторы, значимо влияющие на совершение дорожно-транспортных происшествий [3; 4].

Необходимо не только найти взаимосвязь между обстоятельствами ДТП, но и статистику выборки. Главным критерием аварийности является тяжесть последствий дорожно-транспортных происшествий. В качестве зависимого фактора для этого анализа использовалась частота транспортных коллизий.

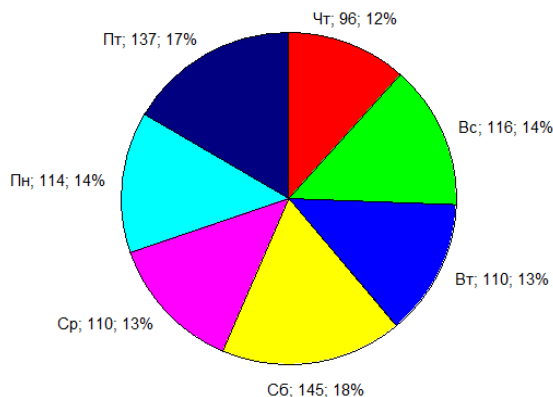
*2 этап. Классификация и систематизация факторов.* Обычно переменные компоненты (индикаторы) выбираются на основе их релевантности, доступности и обоснованности исследования. С другой стороны, индикатор больше ориентирован на проблему или результат.

На начальном этапе этого исследования были отобраны девять переменных компонент, которые отображают различные аспекты дорожной среды с высоким потенциалом для возникновения рисков для водителей. Анализ главных критериев использован для изучения достаточности этих переменных с тем, чтобы определить, является ли он статистически хорошо сбалансирован для разработки комплексного показателя (КП).

Один из самых важных аспектов в КП – наличие взаимосвязи между переменными компонентами. Отсутствие связи между этими показателями может привести к ошибочным выводам.

#### *Анализ переменных*

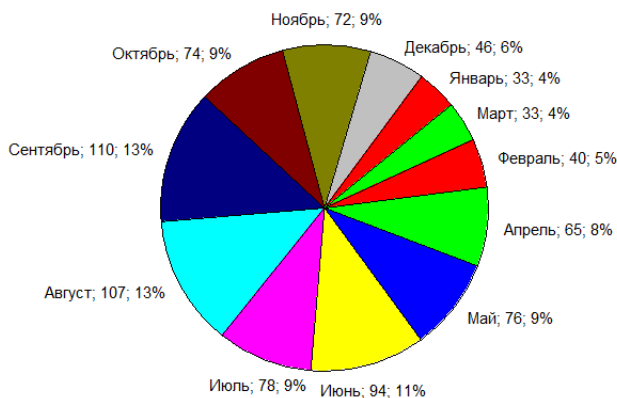
1. При анализе категориального фактора «День недели» установлено, что количество ДТП по дням недели распределяется следующим образом (рисунок 1): наиболее опасными днями являются пятница (17%), суббота (18%) и воскресенье (14%). Наименее аварийный день – четверг (12%).



**Рисунок 1. – Круговая диаграмма и частотная таблица по переменной «День недели»**

Очевидно, что конец рабочей недели отмечается наибольшим количеством ДТП, а в начале и середине недели совершается наименьшее количество происшествий [3].

2. При анализе распределения происшествий по месяцам года (переменная «Месяц») установлено, что наиболее неблагоприятными с точки зрения аварийности являются летние месяцы и начало осени (сентябрь). Наименее аварийными можно считать середину зимы (январь) и начало весны – март (рисунок 2).



**Рисунок 2. – Круговая диаграмма и частотная таблица по переменной «Месяц»**

Рост числа ДТП в конце лета и начале осени объясним ростом интенсивности движения, сложными погодными условиями, началом похолодания и дождей, а также психоэмоциональным состоянием водителей.

3. Распределение аварийности по времени суток характеризуется переменной «Время». При регистрации каждого ДТП фиксируется время его совершения. Значение этого фактора в некоторой степени субъективно из-за особенностей учета ДТП, но целью анализа является определение времени суток с наибольшей вероятностью совершения ДТП. Полученная гистограмма имеет локальный максимум от 18 до 20 часов и минимум в период с 1 часа ночи до 6 часов утра (рисунок 3).

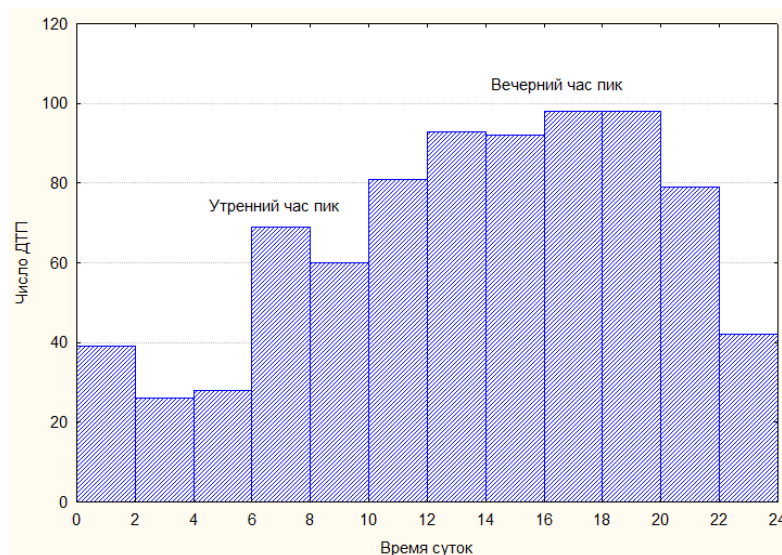


Рисунок 3. – Гистограмма аварийности в различное время суток

Характерно, что число аварий постепенно возрастает в течение всего дня и с 10 до 17 часов остается условно постоянной величиной. Пройдя вечерний пик (18–20 часов) число ДТП снижается к полуночи. Период с 0 до 2 часов ночи также отмечен локальным пиком аварий, вероятно, связанным с резким падением интенсивности движения в результате закрытия большинства городских объектов.

4. Частоту аварийных ситуаций по видам ДТП отражает фактор «Вид происшествия» (таблица 1).

Таблица 1. –Частотная таблица для различного вида происшествий

Category	Frequency table: вид происшествия			
	Count	Cumulative Count	Percent	Cumulative Percent
Попутное столкновение	60	60	7,25	7,25
На пересечении дорог	223	283	26,93	34,18
Лобовое столкновение	99	382	11,96	46,14
Опрокидывание	47	429	5,68	51,81
С ударом сзади	52	481	6,28	58,09
Наезд на велосипедиста	88	569	10,63	68,72
Наезд на препятствие	129	698	15,58	84,30
Столкновение со стоящим ТС	26	724	3,14	87,44
Столкновение с железнодорожным составом	1	725	0,12	87,56
Прочие ДТП	103	828	12,44	100,00
Missing	0	828		100,00

Согласно результатам группирования массива данных по данному классификационному признаку, наиболее часто встречающимся видом ДТП является столкновение транспортных средств на пересечении дорог или повороте.

4. Результирующий показатель тяжести последствий выражен двумя индикаторами: «Ранено» и «Погибло». Он отражает степень тяжести последствий в результате ДТП с фиксацией количества участников происшествия, получивших ранения или погибших, как со стороны нарушителя, так и со стороны пострадавшего (таблица 2).

Таблица 2. – Частотная таблица по числу раненых и погибших

Category	Frequency table: ранено			
	Count	Cumulative Count	Percent	Cumulative Percent
0	42	42	5,07	5,07
1	640	682	77,29	82,37
2	116	798	14,01	96,38
3	21	819	2,54	98,91
4	5	824	0,60	99,52
5	2	826	0,24	99,76
6	1	827	0,12	99,88
7	1	828	0,12	100,00
Missing	0	828	0,00	100,00
Category	Frequency table: погибло			
	Count	Cumulative Count	Percent	Cumulative Percent
0	746	746	90,10	90,10
1	73	819	8,82	98,92
2	4	823	0,48	99,40
3	5	828	0,60	100,00
Missing	0	828	0,00	

Задача снижения количества жертв и раненых при ДТП является приоритетной для дорожных и правоохранительных ведомств, поэтому для данной задачи можно считать эту переменную зависимой [4]. Распределение количества раненых и погибших имеет сложный вид и зависит от многих факторов – от состояния покрытия до освещенности. Установлено, что наиболее частыми являются ДТП, в которых ранено или погибло два человека.

5. Анализ переменной «Профиль дороги» позволяет судить об особенностях рельефа местности и технических характеристиках участка дороги, на котором произошел инцидент. В официальной статистике отмечается, что наиболее частой причиной происшествия является потеря управляемости машины на различных сложных участках дороги. Но потеря управляемости – это следствие воздействия одного из многочисленных факторов на автомобиль со стороны дороги, объединенных данной переменной (таблица 3).

Таблица 3. – Частотная таблица для числа ДТП на сложных участках

Category	Frequency table: профиль дороги			
	Count	Cumulative Count	Percent	Cumulative Percent
Горизонтальный участок	747	747	90,22	90,22
Уклон (спуск)	19	766	2,29	92,51
Уклон (подъем)	20	786	2,42	94,93
Кривая в плане	32	818	3,86	98,79
Прочее	3	821	0,36	99,15
Вершина подъема	3	824	0,36	99,52
Конец спуска	2	826	0,24	99,76
Кривая в профиле	1	827	0,12	99,88
Missing	1	828	0,12	100,00

К сожалению, необходимая информация есть не по всем ДТП, поэтому дальнейшее исследование распределения аварий, произошедших на сложных участках, может помочь локализовать наиболее опасные факторы.

Установлено, что по абсолютной величине наиболее аварийными являются горизонтальные участки дороги, затем следуют элементы с кривой в плане и уклоном. Наибольшая вероятность возникновения аварийных ситуаций на, казалось бы, самых безопасных участках – следствие их явного доминирования на дорогах.

6. Фактор «Освещение». Проанализированы данные о работе внешних осветительных приборов в разное время суток и в разное время года. Он является несущественным, однако движение с включенными фарами не только в темное, но светлое время суток снижает аварийность на дороге.

С одной стороны, наружное освещение положительно влияет на снижение аварийности путем улучшения видимости других участников дорожного движения и объектов в темноте. С другой – улуч-

шение видимости на дороге в темное время суток приводит к увеличению скорости движения и повышает количество происшествий и тяжесть их последствий.

7. Фактор «Погодные условия», сложившиеся на момент совершения ДТП, довольно значимый и влияющий на результат. Установлено, что большинство ДТП происходит в сухую, ясную или пасмурную погоду. В данном случае между этими классами переменной нет различий. Минимальное количество происшествий с пострадавшими различной степени тяжести в снежную или дождливую погоду говорит о небольшом влиянии этого фактора на рассматриваемый показатель (рисунок 4).

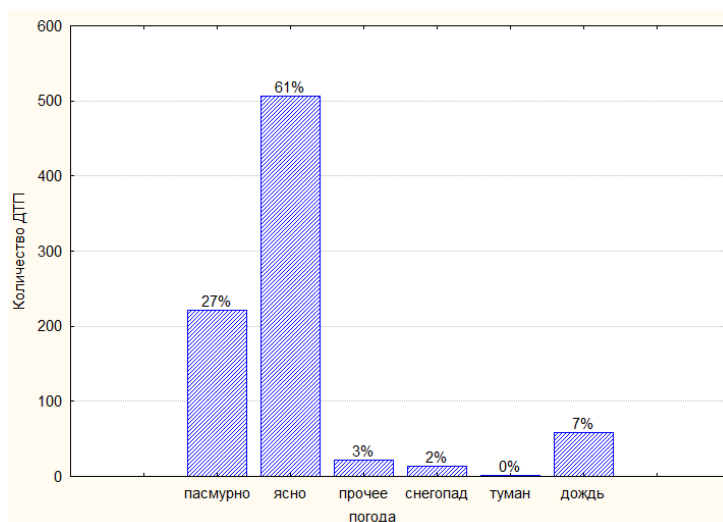


Рисунок 4. – Гистограмма для переменной «Погодные условия»

В данном случае значимым является независимый фактор, характеризующий состояние проезжей части, – коэффициент сцепления шин с дорогой.

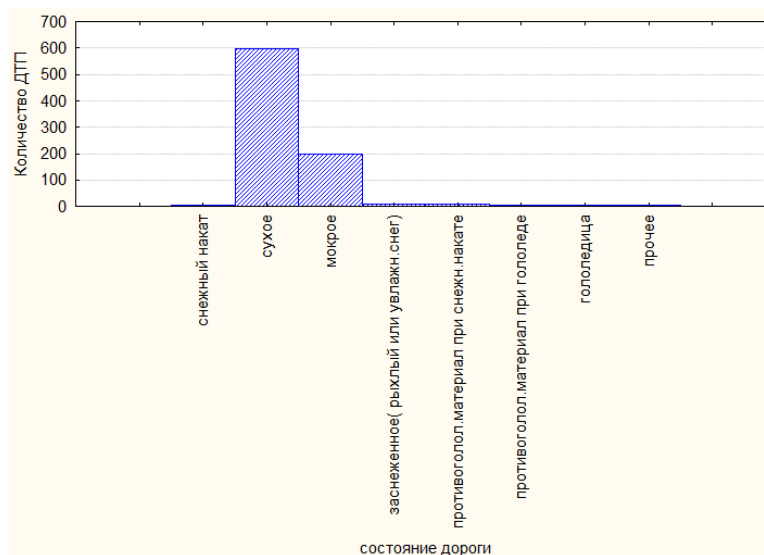


Рисунок 5. – Гистограмма для переменной «Состояние проезжей части»

Кроме того, вероятность травмирования участников ДТП на сухом и мокром покрытии примерно одинакова.

3 этап. Структурный анализ индикаторов для комплексного показателя аварийных ситуаций. Главная задача данного этапа – выявление факторов, влияющих на число пострадавших при аварии.

Обобщенной задачей является разработка математической модели, которая объясняла бы количество раненых и погибших при ДТП под влиянием факторов внешней среды [5; 6]. Поскольку не все статистически значимые данные доступны в исходной таблице, построение такой многофакторной модели становится сложной задачей, при решении которой возможно нахождение общих закономерностей,

определяющих высокое или низкое количество пострадавших [7; 8]. Работа с большим числом предикторов малопродуктивна, лишние переменные затрудняют поиск истинной зависимости. На рисунке 6 представлен результат отбора наиболее значимых факторов из массива независимых переменных, потенциально влияющих на результат.

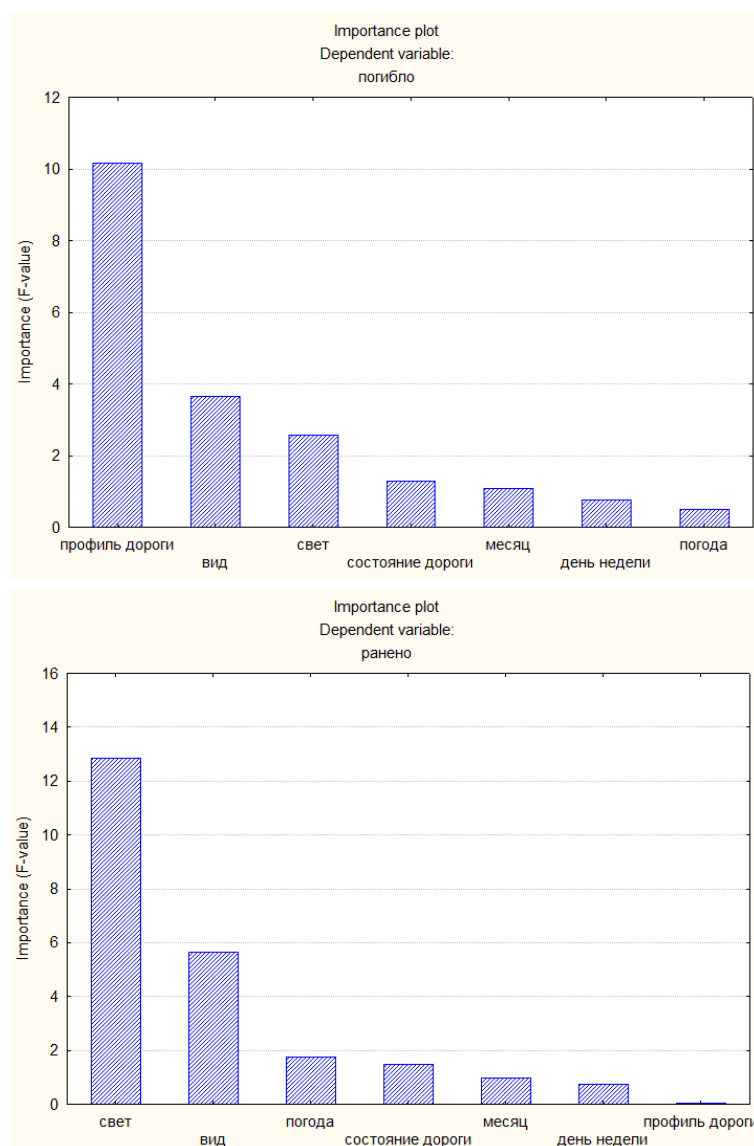


Рисунок 6. – График важности предикторов для переменных «Погибло» и «Ранено»

Методами дисперсионного анализа исследовались факторы, влияющие на аварийность. В качестве предикторов приняты переменные из числа отобранных при отсеве признаков. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4. – Результаты дисперсионного анализа для переменных «Погибло» и «Ранено»

Dependet Variable	Test of SS Whole vs. SS Residual										
	Multiple R	Multiple R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	SS model	df model	MS model	SS Residual	df Residual	MS Residual	F	p
Погибло	0,2378	0,0566	0,0209	6,9492	30	0,2316	115,8934	795	0,1458	1,5890	0,0243
Ранено	0,2743	0,0752	0,0403	26,4887	30	0,8830	325,6335	795	0,4096	2,1556	0,0004

Проведенные исследования позволили выделить ряд факторов, влияющих на общее количество погибших и раненых. Установлено, что на критерии «Погибло» и «Ранено» оказывают влияние такие переменные, как «Профиль дороги», «Освещение», «Вид». На критерий «Погибло» – также переменная «Состояние дороги». На критерий «Ранено» – переменная «Интенсивность». Во всех случаях данное

влияние незначительно, о чем свидетельствуют низкие коэффициенты детерминации для категориальных данных и невысокие коэффициенты Спирмена. Переменные «Месяц», «День недели», «Погодные условия» не оказывают значимого влияния на число погибших и раненых.

При этом следует отметить, что вышеуказанные факторы сами по себе являются комплексными [9] и оказывают влияние на численное значение ряда показателей, таких как интенсивность дорожного движения, скорость автомобиля, расстояние видимости и коэффициенты продольного и поперечного сцепления шин с дорогой, которые, к сожалению, в настоящее время не регистрируются при ДТП [10].

Проведенные исследования не дают окончательного ответа на вопрос о модели, определяющей количество ДТП и тяжесть их последствий, а также степени влияния каждого фактора. Для проведения детальных исследований и более глубокого анализа с целью выявления характера влияния данных факторов на количество пострадавших целесообразно перейти к относительным величинам в дальнейшей работе.

На основании этих выводов предлагается построение комплексной оценки показателя аварийной ситуации в виде иерархической структуры, которая включает в себя целевой, критериальный, индикаторный уровни. Целевой уровень показывает, что риск аварии зависит от комбинации критериев по частоте аварийных ситуаций, степени тяжести ДТП и определяющего тренда аварии.

**Заключение.** Данное исследование направлено на разработку проактивной системы обеспечения безопасности дорожного движения. Группу выявленных основных факторов можно рассматривать как набор индикаторов повышенного риска возникновения ДТП с различной степенью тяжести, входящий составной частью в комплексный показатель аварийной ситуации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аудит безопасности дорожного движения / Д.В. Капский [и др.] ; науч. ред. Д.В. Капский. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 428 с.
2. Врубель, Ю.А. Определение потерь в дорожном движении / Ю.А. Врубель, Д.В. Капский, Е.Н. Кот. – Минск : БНТУ, 2006. – 240 с.
3. Харин, Ю.С. Математические и компьютерные основы статистического анализа данных и моделирования : учеб. / Ю.С. Харин, В.И. Малюгин, М.С. Абрамович. – Минск : БГУ, 2008. – 455 с.
4. Скиркоуский, С.В. Оценка безопасности дорожного движения на этапах проектирования транспортной сети / С.В. Скиркоуский, А.Б. Невзорова // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2019. – Ч. 1. – С. 73–75.
5. Kapski, D. Theoretical principles of forecasting accident rate in the conflict section of the cities by the method of potential danger / D. Kapski, I. Leonovich, K. Ratkevičiūtė // The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering. – 2007. – Vol. II, № 3. – P. 133–140.
6. Identification of Hazardous Road Sections: Crash Data versus Composite Index Method / Intan Suhana M. R. [et al.] // IACSIT International Journal of Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 6, No. 6. – P. 481–486.
7. Łukasik, Z. Safety and risk in road traffic: selected problems / Z. Łukasik, A. Szymanek // Transport Problems. – 2012. – Vol. 7, No. 2. – P. 83–94.
8. Эльвик, Р. Справочник по безопасности дорожного движения : [пер. с норв.] / Р. Эльвик, А. Боргер Мюсен, Т. Ваа ; под ред. проф. В.В. Сильянова. – М. : МАДИ (ГТУ), 2001. – 754 с.
9. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса : материалы I Всерос. науч.-практ. (заоч.) конф. с междунар. участием / под общ. ред. И.А. Якубович. – Магадан : Изд-во СВГУ, 2011. – 300 с.
10. Капский, Д.В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении / Д.В. Капский. – Минск : БНТУ, 2008. – 243 с.

Поступила 02.11.2020

#### CREATING A HIERARCHICAL SYSTEM OF INDICATORS FOR A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF EMERGENCY SITUATIONS

S. SKIRKOUSKI, A. NEUZORAVA

*The research is aimed at identifying basic indicators in the form of variables for analyzing emergency situations in urban conditions from a multi-factor point of view. It is established that out of nine indicator variables, six are the determining ones, on the basis of which a hierarchical system of indicators is built for a comprehensive assessment of emergency situations. The results obtained can be used in the development of a proactive road safety system.*

**Keyword:** *emergency, traffic accident, variables, indicators.*