

К ВОПРОСУ О ВАЖНОСТИ ЭНТРОПИЙНОГО АНАЛИЗА В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ФЕДЕРАЛЬНОМ УРОВНЕ

А.И. Петров

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
e-mail: ArtIgPetrov@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема малой информативности ныне используемой в России системы анализа специфики процесса формирования дорожно-транспортной аварийности. К сожалению, набор оценочных показателей безопасности дорожного движения (БДД), используемый ныне в нашей стране, позволяет решать крайне ограниченный набор задач, в основном сравнивая фактические характеристики аварийности с аналогами предыдущих временных периодов. Качественные особенности процесса формирования БДД при этом остаются нераскрытыми. Этот серьезный недостаток ныне используемого аналитического подхода можно исправить в случае использования для целей анализа качественного состояния систем обеспечения БДД энтропийных характеристик – абсолютной H и относительной H_n энтропии и энтропийного коэффициента подобия K_h . Энтропийный анализ позволяет решать одну из самых главных задач управления системными процессами – оценивать качество этого управления. Данная задача представляется автору чрезвычайно важной по целому ряду причин. Важнейшей из них является причина чрезвычайно разнообразия региональных транспортных систем, являющихся в свою очередь производными от множества историко-географических, социально-экономических, и национально-демографических факторов. Управлять региональными системами обеспечения БДД в России используя однотипные подходы, пожалуй, нецелесообразно и в конечном итоге неэффективно.

Целью исследования, результаты которого представлены в статье, является разработка совокупности теоретических положений, позволяющих адекватно интерпретировать и моделировать процессы формирования организованности, как идентификатора качества управления, систем обеспечения БДД. Основой оценки организованности систем обеспечения БДД является оценка энтропийных характеристик систем обеспечения БДД. В статье представлена методика и результаты оценки энтропийных характеристик процесса формирования БДД в России. Отдельного внимания заслуживает идея выявления проблемных на фоне других регионов страны систем обеспечения БДД, основанная на сравнении значений относительной энтропии H_n , рассчитанных по четырех- и трехзвенной методикам. Также в статье рассматриваются пути практического использования энтропийного анализа в решении задач повышения БДД на федеральном уровне.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, дорожно-транспортная аварийность, управление, федеральный уровень, качество управления, энтропия, энтропийный анализ.

Для цитирования: Петров А. И. К вопросу о важности энтропийного анализа в оценке качества управления безопасностью дорожного движения на федеральном уровне // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 8. – С. 116-126. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-8-116.

ON THE IMPORTANCE OF ENTROPY ANALYSIS IN ASSESSING THE QUALITY OF ROAD SAFETY MANAGEMENT AT THE FEDERAL LEVEL

A.I. Petrov

Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia
e-mail: ArtIgPetrov@yandex.ru

Abstract. The article considers the issue of bad informativeness of used system of analysis of road accident rate formation specifics. Unfortunately, the set of evaluative indicators of road safety allows to solve extremely limited set of problems. In general, they compare actual road accident rate characteristics with equivalent ones in previous time periods. Meanwhile the qualitative properties of road safety formation process stay undiscovered. The disadvantage of this analytical approach can be resolved by using entropic characteristics. They include absolute entropy H , relative entropy H_n and entropic coefficient of similarity K_h . Entropic analysis allows to solve

one of the most important problem of system process management – how to assess the quality of management. In the context of Russia this problem is significant because of the diversity of regional transport systems in Russian Federation. This diversity is the result of historical-geographical, social-economical and national-demographical factors. Usage of uniform management approach for road safety provision systems of different regions is inefficient and not forward-looking.

The aim of the research is the development of theoretical theses which allow to adequately interpret and model orderliness formation process in order to identify the quality of road safety provision systems management. The basis of assessment of orderliness of road safety provision systems is evaluation of entropic characteristics of road safety provision systems. The article presents method of assessment of entropic characteristics of road safety formation process in Russia and the results of its application. Special attention should be given to the idea of detection of problematic road safety provision systems against the background of other regions based on the comparison of relative entropy values H_n , calculated by for- and three-linked methods. Moreover, the article considers possible ways of practical usage of entropic analysis in order to increase the level of road safety.

Keywords: road safety, traffic accidents, management, Federal level, quality of management, entropy, entropy analysis.

Cite as: Petrov, A.I. (2019) [On the importance of entropy analysis in assessing the quality of road safety management at the federal level]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovation. Investments]. Vol. 8, pp. 116-126. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-8-116.

Проблема отсутствия инструментария качественного анализа процессов формирования дорожно-транспортной аварийности

Особенностью больших систем, к классу которых относится транспортная система Российской Федерации, является высокий уровень их сложности [10, 13]. Такие системы характеризуются большим числом системных элементов и гигантским количеством межэлементных связей. Это, в свою очередь, формирует высокий уровень хаотичности состояния транспортной системы и слабую predisposedness к внешнему управлению [5, 6, 9, 10].

Попытки федеральной власти выстроить вертикальные структуры контроля за транспортными процессами, в том числе за безопасностью дорожного движения (БДД), далеко не всегда успешны. Об этом свидетельствует множество примеров, красноречивейшим из которых является статистика дорожно-транспортной аварийности в Российской Федерации в региональном разрезе. В течение последних пяти лет (2014...2018 гг.) годовое число погибших в ДТП снизилось в России с 26963 до 18214 чел./год или на 32 %¹. Однако этот успех достигнут в основном за счет достижений в крайне ограниченном числе субъектов федерации [11]. Более того, контроль за процессами формирования БДД осуществляется путем учета весьма ограниченного набора показателей – абсолютных (число ДТП, число пострадавших и погибших) и относительных (аналогов Социального и Транспортного рисков и коэффициента тяжести ДТП) [7, 11]. Позволяет ли этот набор характе-

ристик корректно оценивать глубинный смысл процессов формирования дорожно-транспортной аварийности в стране? Пожалуй, нет. По сути, можно констатировать отсутствие у федеральной власти инструментария анализа особенностей региональных процессов формирования дорожно-транспортной аварийности.

Между тем, качество системного управления вполне можно оценивать посредством энтропийных характеристик, к числу которых относятся абсолютная и относительная энтропия и энтропийный коэффициент [16, 22, 23]. Эти характеристики позволяют судить о степени хаотичности функциональных процессов и в достаточной мере свидетельствуют именно о подчиненности управляемой системы внешнему управлению.

Известно, что информационная энтропия – мера неопределенности какого-либо конкретного состояния системы, т.е. хаоса, как информационной характеристики состояния этой системы [4, 9, 19, 20]. В случае, если транспортный процесс, как выражение физического воплощения процесса функционирования транспортной системы, обладает признаками полной предопределенности как в пространстве, так и во времени, то энтропия этой системы стремится к минимальным значениям, а в идеале – к нулю. В такой идеальной системе будет нулевой уровень аварийности просто потому, что будут отсутствовать конфликтные ситуации. Возможно ли это? Теоретически да, если все субъекты управления, т.е. водители, строго следуют требованиям Правил дорожного движения (ПДД), а сами ПДД предусматривают гибкую подстройку под постоянно изменяющуюся

¹ Госавтоинспекция МВД России. Официальный интернет-сайт. Показатели состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gibdd.ru/stat/> (дата обращения: 12.08.2019).

ся внешней средой. Именно этим путем сегодня идут в передовых с технических и социальных позиций странах (Сингапур, Япония, скандинавские страны, Великобритания) и именно поэтому в этих странах сегодня достигнуты самые высокие уровни БДД (уровень Социального риска порядка 2...3 погибших в ДТП/100 тыс. чел) [2]. В Российской Федерации в 2018 г. Социальный риск составил 12,4 погибших в ДТП/100 тыс. чел.². Это значение в 6 раз выше, чем в лидирующих странах, при том, что Стратегия по БДД в РФ³ ставит задачу снизить этот показатель к 2024 г. более чем в три раза до уровня 4 погибших в ДТП/100 тыс. чел. Здравый смысл подсказывает, что вряд ли это возможно. И основной причиной этого сомнения является отсутствие технологий качественного анализа процессов формирования дорожно-транспортной аварийности в регионах страны.

Понятие информационной энтропии в сфере БДД

Суть информационной энтропии можно наглядно представить в виде потери информации в процессе ее передачи по некоему причинно-следственному тракту [12, 19, 20]. Структура этого тракта может быть самой разнообразной, как по числу элементов, так и по их физическому воплощению. Если эти информационные потери большие, то энтропия высока и наоборот. Так, если все участники дорожного движения будут беспрекословно выполнять требования ПДД, то потери информации, регламентирующей процессы БДД, будут стремиться к нулю, так же как энтропия H . Проблема в том, что участники дорожного движения в большинстве своем не стремятся к этому (по разным причинам; этот вопрос требует отдельного обсуждения) и способствуют

росту уровня хаоса и системной неопределенности, что формирует конфликтные дорожные ситуации, зачастую перерастающие в аварийные. Другой пример – количественное соотношение величин, характеризующих качественное состояние транспортной системы, таких как, например, уровень автомобилизации населения, характеристики использования транспортных средств и т.д. Все эти процессы крайне сложно регламентировать [8] и сочетание различных характеристик транспортной системы [14] может быть настолько разнообразным, что уровень ее информационной энтропии может изменяться в самых широких диапазонах [4, 19, 20]. Важно отметить и то, что во многом информационная энтропия в сфере БДД определяется уровнем ресурсообеспеченности транспортной системы [7]. Так, уровень автомобилизации и доля погибших в числе пострадавших в ДТП характеризуют ресурсообеспеченность населения [1, 2], а соотношение числа ДТП к числу зарегистрированных автомобилей – ресурсообеспеченность системы обеспечения и регулирования дорожного движения [2, 7].

Методика оценки энтропийных характеристик процесса формирования БДД

Ранее методика количественной оценки энтропии систем обеспечения БДД детально рассматривалась в работах [16, 21–23], в связи с чем укажем лишь принципиальные моменты этой методики.

С энтропийных позиций процесс формирования дорожно-транспортной аварийности (рисунок 1 и 2) можно представить как последовательный переход информации по n -звенному тракту с коэффициентами информационной передачи K_i .

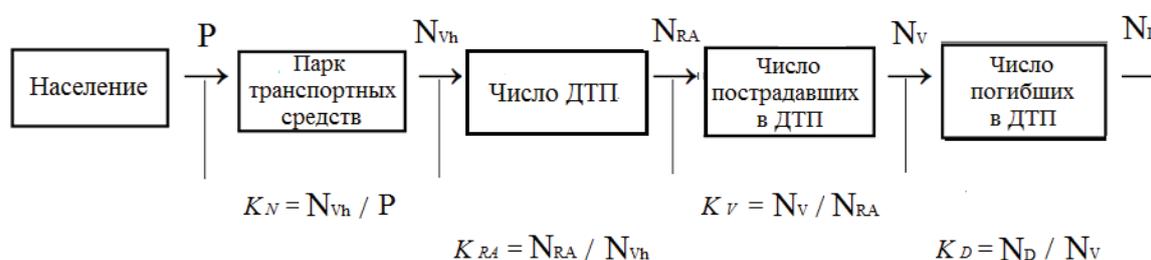


Рисунок 1. Объектно-смысловая цепочка передачи количественной информации в процессе формирования дорожно-транспортной аварийности (Четырехзвенная система (Н-4)) [16, 21-23]

² Госавтоинспекция МВД России. Официальный интернет-сайт. Показатели состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gibdd.ru/stat/> (дата обращения: 12.08.2019).

³ Распоряжение Правительства РФ от 8 января 2018 г. № 1-р «Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018–2024 годы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.static.government.ru/media/files/g6BXGgDI4fCEiD4xDdJUwLxudPAT BC12.pdf> (дата обращения: 5.10.2019).

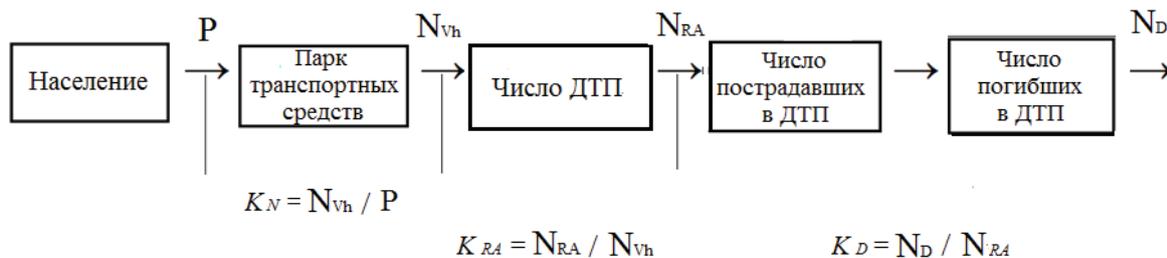


Рисунок 2. Объектно-смысловая цепочка передачи количественной информации в процессе формирования дорожно-транспортной аварийности (Трехзвенная система (H-3))

Под коэффициентом информационной передачи i -звена понимается отношение его выхода (A_{out}) ко входу (A_{in}):

$$K_i = A_{out} / A_{in} \quad (1)$$

На следующем этапе оценки энтропии необходимо количественно определить так называемый позитив или положительный вклад Q относительно веса соответствующего звена исследуемого трансформационного процесса в объектно-смысловой цепочке передачи информации «Население – <...> – Число погибших в ДТП».

Физический смысл положительного вклада Q различных элементов цепочки «Население – <...> – Число погибших в ДТП» в конечный результат дорожно-транспортной аварийности является мерой объема информации или производной энтропии исследуемого процесса.

Для четырехзвенной методики определения энтропии (H-4) это можно сделать согласно (2):

$$Q = Q_N + Q_{RA} + Q_V + Q_D = \ln(1/K_N) + \ln(1/K_{RA}) + \ln(K_V) + \ln(1/K_D) \quad (2)$$

Для версии (H-3) трехзвенной методики определения энтропии это можно сделать согласно (3):

$$Q = Q_N + Q_{RA} + Q_D = \ln(1/K_N) + \ln(1/K_{RA}) + \ln(1/K_D) \quad (3)$$

На следующем этапе процедуры расчета энтропии необходимо определить особенности структуры весовых коэффициентов W_i для оценки положительного вклада Q различных элементов цепочки «Население – <...> – Число погибших в ДТП». Наличие расчетных значений W_i , а именно W_N, W_{RA}, W_V, W_D (для версии H-4) или W_N, W_{RA}, W_D (для версии H-3) позволяет оценить влияние различных блоков исследуемой цепочки на формирование конечной дорожно-транспортной аварийности.

Конечный этап исследований энтропии подразумевает расчет фактических значений трех характеристик организованности систем обеспечения БДД:

- Абсолютной энтропии (чаще ее идентифицируют просто как энтропию) H – по классической формуле К. Шеннона (4) [19]:

$$H = -\sum_{i=1}^n w_i \cdot \ln w_i \quad (4)$$

где

n – число звеньев передачи информации в системе;

w_i – вес значимости звена (весовой коэффициент) в общем механизме системно-технологического процесса ($\sum_{i=1}^n w_i \cdot \ln w_i$).

- Относительной энтропии H_n – по формуле (5) [21, 22]:

$$H_n = H / H_{max} = H / \ln(n) \quad (5)$$

где

n – число звеньев передачи информации в системе;

$n = 4$ – в случае четырехзвенной методики расчета энтропии (H-4);

$n = 3$ – в случаях трехзвенной методики расчета энтропии (H-3).

- Энтропийного коэффициента подобия K_h – по формуле (6) [21, 22]:

$$K_h = \exp H / \exp(\ln(n)) \quad (6)$$

где

n – число звеньев передачи информации в системе;

$n = 4$ – в случае четырехзвенной методики расчета энтропии (H-4);

$n = 3$ – в случаях трехзвенной методики расчета энтропии (H-3).

Полученные численные значения энтропийных характеристик могут быть использованы для оценки степени организованности систем обеспечения БДД различных размерностей (в том числе в региональном разрезе).

Достоинства и недостатки четырех- и трехзвенной методик определения информационной энтропии региональных систем обеспечения БДД

Один из самых принципиальных вопросов, которые могут возникнуть в процессе исследования – какой из вариантов оценки организованности систем обеспечения БДД использовать в ходе проведения исследований – четырех – *Hn-4* или трехзвенный *Hn-3*?

Ответ на этот вопрос аргументировать довольно сложно. У каждого из вариантов есть свои преимущества. Так, для варианта *Hn-4* это более полный анализ особенностей причинно-следственной цепочки; а чем больше звеньев в цепочке, тем более адекватный результат оценки системной организованности можно получить. Для выбора варианта *Hn-3* важный аргумент – ликвидация из причинно-следственной цепочки звена «Число ДТП – Число пострадавших в ДТП», переходный коэффициент для которого практически всегда выше 1 (в ДТП не

может пострадать менее 1 человека, т.к. в автомобиле всегда находится хотя бы один человек – водитель). Для регионов России (2018 г.) характерны значения переходного коэффициента от числа ДТП к числу пострадавших в ДТП (K_V) в диапазоне от 1,09 (Чукотский АО)...2,02 чел. (Республика Ингушетия)⁴; в среднем по России – 1,386 чел.

Т.к. $\ln(x)$ при $x > 1$ принимает отрицательные значения, то необходимо избавиться от этого эффекта, для чего при расчете Q_V и используется расчет $\ln(x)$ применительно к прямой величине (K_V), в то время, как при расчете Q_N, Q_{RA}, Q_D используется расчет $\ln(x)$ применительно к обратным величинам ($1/K_N$); ($1/K_{RA}$); ($1/K_D$). Сложно судить, насколько правомерен этот подход. Наверное, это и есть важнейший аргумент в пользу трехзвенной методики определения информационной энтропии *Hn-3* перед четырехзвенной *Hn-4*.

Результаты оценки качества управления безопасностью дорожного движения в Российской Федерации

Приведем пример расчета информационной энтропии общероссийской системы обеспечения БДД. Исходные для расчета данные⁵ представлены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные для расчета значений коэффициентов передачи K_i в причинно-следственном механизме формирования аварийности в России

Размерность системы обеспечения БДД (2018)	Численные значения характеристик причинно-следственной цепочки формирования дорожно-транспортной аварийности в РФ				
	Население, тыс. чел.	Парк ТС., ед.	Кол-во ДТП, ед./год	Пострадавшие в ДТП, чел./год	Погибшие в ДТП, чел./год
Российская Федерация	146828,17	60578772	168099	232907	18214

Эти данные являются исходными и играют роль блоков причинно-следственной цепочки, идентифицирующей процесс формирования дорожно-транспортной аварийности. На основании этих данных и пользуясь методикой, представленной выше, рассчитаем значения трех энтропийных характеристик организованности систем обеспечения БДД, причем сделаем это в соответствии с четырех-

(*H-4*) и трехзвенной (*H-3*) методиками определения энтропийных характеристик состояния общероссийской системы обеспечения БДД.

В таблице 2 представлены значения коэффициентов передачи K_i в четырехзвенном (*Hn-4*) причинно-следственном механизме формирования аварийности в России в 2018 г.

Таблица 2. Расчетные значения коэффициентов передачи K_i в четырехзвенном (*Hn-4*) причинно-следственном механизме формирования аварийности в России

Расчетные значения передаточных коэффициентов K_i в причинно-следственной цепочке			
K_N	K_{RA}	K_V	K_D
0,4126	0,0028	1,3855	0,0782

⁴ Госавтоинспекция МВД России. Официальный интернет-сайт. Показатели состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gibdd.ru/stat/> (дата обращения: 12.08.2019).

⁵ Госавтоинспекция МВД России. Официальный интернет-сайт. Показатели состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gibdd.ru/stat/> (дата обращения: 12.08.2019).

В таблице 3 представлены результаты расчета позитива Q_i звеньев информационной передачи в четырехзвенной ($Hn-4$) причинно-следственной цепочке формирования БДД и их относительного веса.

Таблица 3. Результаты расчета позитива Q_i звеньев информационной передачи в причинно-следственной цепочке формирования БДД и их относительного веса ($Hn-4$).

Численные значения позитива Q_i звеньев информационной передачи и их веса			
$Q(K_N)$	$Q(K_{RA})$	$Q(K_V)$	$Q(K_D)$
0,8853	5,8871	0,3261	2,5484
$\Sigma Q_i = 9,6470$			
Доля / Вес $Q(K_N)$	Доля / Вес $Q(K_{RA})$	Доля / Вес $Q(K_V)$	Доля / Вес $Q(K_D)$
0,0918	0,6103	0,0338	0,2642

В таблице 4 представлены промежуточные этапы и итоговый результат расчета энтропии H четырехзвенного процесса формирования региональной дорожно-транспортной аварийности для системы обеспечения БДД в России в 2018 г.

Таблица 4. Результаты расчета энтропии H процесса формирования дорожно-транспортной аварийности в России в 2018 г. ($Hn-4$)

Численные значения \ln веса позитива $\ln(\omega_N)$ звеньев информационной передачи			
$\ln(\omega_N)$	$\ln(\omega_{RA})$	$\ln(\omega_V)$	$\ln(\omega_D)$
-2,3885	-0,4939	-3,3872	-1,3312
Численные значения произведений $(\omega) \cdot \ln(\omega)$ звеньев информационной передачи			
$(\omega_N) \cdot \ln(\omega_N)$	$(\omega_{RA}) \cdot \ln(\omega_{RA})$	$(\omega_V) \cdot \ln(\omega_V)$	$(\omega_D) \cdot \ln(\omega_D)$
-0,2192	-0,3014	-0,1145	-0,3517

Согласно (4), а именно – по формуле $H_{ОБДД} = -\sum_{i=1}^n w_i \cdot \ln w_i$ – можно рассчитать значение четырехзвенной энтропии ($Hn-4$) системы обеспечения БДД в России для 2018 г.:

$$H_{ОБДД} P\Phi(2018) = -[(-0,2192) + (-0,3014) + (0,1145) + (-0,3517)] = 0,9868.$$

Для трехзвенной ($H-3$) методики определения энтропийных характеристик состояния (2018 г.) общероссийской системы обеспечения БДД расчеты будут следующими. Расчетные значения передаточных коэффициентов K_i для системы обеспечения БДД в России в 2018 г. представлены в таблице 5.

Таблица 5. Расчетные значения коэффициентов передачи K_i в трехзвенном ($Hn-3$) причинно-следственном механизме формирования аварийности в России

Расчетные значения передаточных коэффициентов K_i в причинно-следственной цепочке		
K_N	K_{RA}	K_D
0,4126	0,0028	0,1084

В таблице 6 представлены результаты расчета позитива Q_i звеньев информационной передачи в причинно-следственной цепочке формирования БДД и их относительного веса.

Таблица 6. Результаты расчета позитива Q_i звеньев информационной передачи в причинно-следственной цепочке формирования БДД и их относительного веса ($Hn-3$)

Численные значения позитива Q_i звеньев информационной передачи и их веса		
$Q(K_N)$	$Q(K_{RA})$	$Q(K_D)$
0,8853	5,8871	2,2224
$\Sigma Q_i = 8,9948$		
Доля / Вес $Q(K_N)$	Доля / Вес $Q(K_{RA})$	Доля / Вес $Q(K_D)$
0,0984	0,6545	0,2471

В таблице 7 представлены промежуточные этапы и итоговый результат расчета энтропии ($Hn-3$) процесса формирования региональной дорожно-

транспортной аварийности для системы обеспечения БДД в России в 2018 г.

Таблица 7. Результаты расчета энтропии H процесса формирования дорожно-транспортной аварийности в России в 2018 г. ($Hn-3$)

Численные значения \ln веса позитива $\ln(\omega_N)$ звеньев информационной передачи		
$\ln(\omega_N)$	$\ln(\omega_{RA})$	$\ln(\omega_D)$
-2,3185	-0,4239	-1,3981
Численные значения произведений $(\omega) \cdot \ln(\omega)$ звеньев информационной передачи		
$(\omega_N) \cdot \ln(\omega_N)$	$(\omega_{RA}) \cdot \ln(\omega_{RA})$	$(\omega_D) \cdot \ln(\omega_D)$
-0,2282	-0,2774	-0,3454

Согласно (4) можно рассчитать значение трехзвенной энтропии ($Hn-3$) системы обеспечения БДД в России для 2018 г.:

$$H_{обдд} P\Phi(2018) = -[(-0,2282) + (-0,2774) + (0,3454)] = 0,8510.$$

В таблице 8 приведены сводные данные всех трех энтропийных характеристик для системы обеспечения БДД в России в 2018 г.

Таблица 8. Сводная таблица значений (для данных 2018 г.) энтропийных характеристик процесса формирования дорожно-транспортной аварийности в России

Размерность системы ОБДД РФ (2018)	Энтропия четырехзвенного процесса ОБДД			Энтропия трехзвенного процесса ОБДД		
	H	H_n	K_h	H	H_n	K_h
Российская Федерация	0,987	0,712	0,671	0,851	0,775	0,781

Согласно вышеприведенному примеру были проведены аналогичные расчеты энтропийных характеристик для систем обеспечения БДД для Федеральных округов РФ и субъектов Федерации.

Качественные выводы о специфике дорожно-транспортной аварийности в регионах Российской Федерации и временная динамика региональной специфики дорожно-транспортной аварийности Российской Федерации

С целью понимания того, насколько связаны между собой значения относительной энтропии систем обеспечения БДД регионов, определенные с учетом двух разных методик ($Hn-4$) и ($Hn-3$), были проведены исследования статистической связи между значениями ($Hn-4$) и ($Hn-3$), соответствующими системам обеспечения БДД конкретных регионов. Для понимания того, менялась ли качественно эта связь в течение последних 15 лет, были построены две зависимости ($Hn-3$) = $f(Hn-4)$ – для данных 2004 и 2018 гг.

Соответствующие зависимости приведены на рисунке 3 и рисунке 4.

Идентификация статистической связи между расчетными значениями относительной энтропии региональных систем обеспечения БДД и $Hn-4$ и $Hn-3$ в 2004 и 2018 гг. показала следующее.

Во-первых, для модели ($Hn-3$) = $f(Hn-4)$ статистическая связь между переменными может быть признана приемлемой. Значение R^2 для модели ($Hn-3$) = $f(Hn-4)$ могло бы быть значительно выше (до $R^2 = 0,8$), если бы из анализа были исключены буквально 6 региональных значений Hn из 85 ($\approx 7\%$ значений) – так называемые «точки-выбросы». Эти точки соответствуют тем немногочисленным регионам страны, которые являются аутсайдерами по всем оценочным показателям развития территории, экономики и населения (Республика Тыва, Республика Ингушетия и т. п.).

Во-вторых, сравнение между собой моделей ($Hn-3$) = $f(Hn-4)$, соответствующих данным 2004 г. и 2018 г., показало, что параметр b линейной модели $Y = a + bX$ за прошедшие 15 лет увеличил-

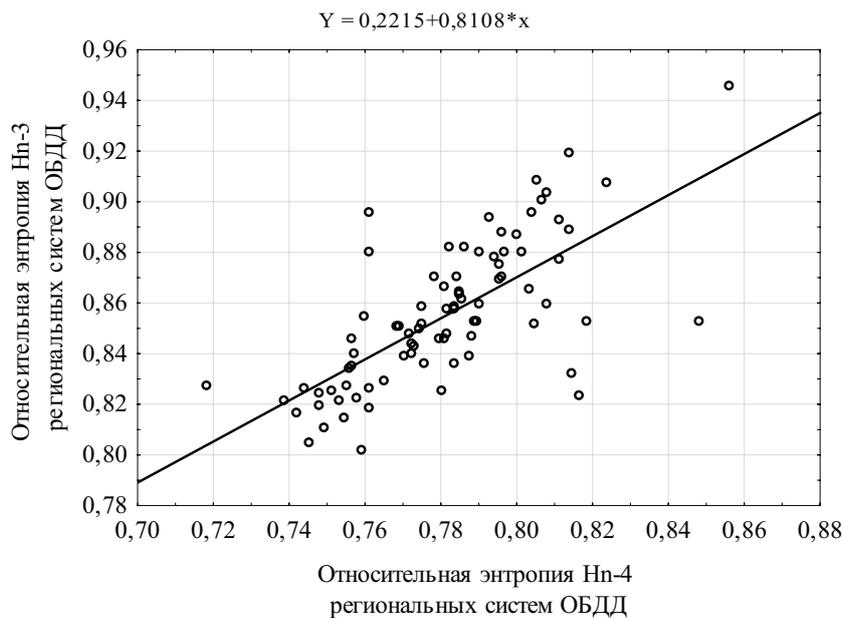


Рисунок 3. Регрессионная модель $(Hn-3) = f(Hn-4)$ для данных 2004 г. $R^2 = 0,490$; $F = 77,83$; Std. Error: 0,071

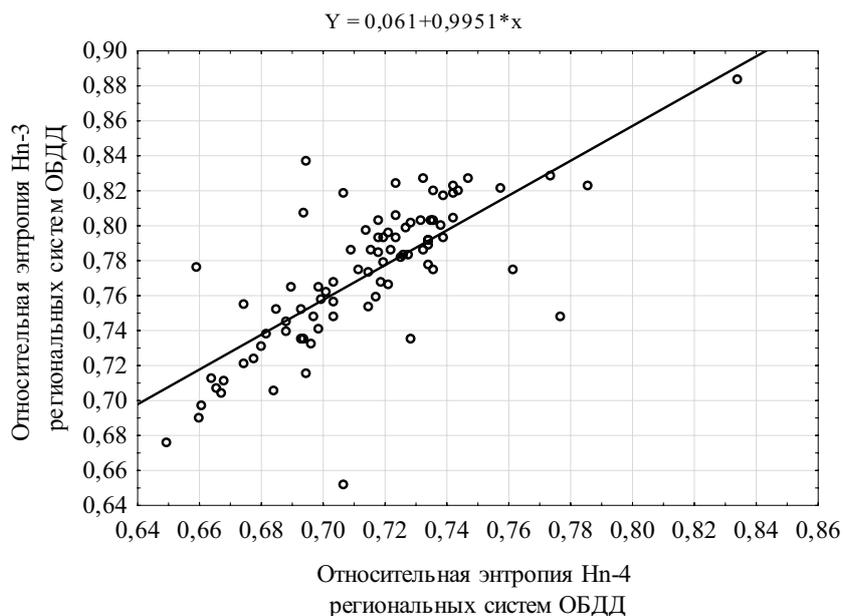


Рисунок 4. Регрессионная модель $(Hn-3) = f(Hn-4)$ для данных 2018 г. $R^2 = 0,558$; $F = 104,75$; Std. Error: 0,069.

ся со значения $b_{2004} = 0,810$ до значения $b_{2018} = 0,995$. Это позволяет сделать вывод об изменении в 2004...2015 гг. структуры весов элементов причинно-следственной цепочки. Если точнее, то это свидетельствует о снижении значимости звена «Пострадавшие в ДТП – Погибшие в ДТП» причинно-следственной цепочки формирования дорожно-

транспортной аварийности. Причин этому может быть три – совершенствование качества парка ТС в стране (растет уровень пассивной безопасности ТС, что влияет на степень тяжести исхода ДТП)⁶; повышение качества первой медицинской помощи [1]; повышение уровня транспортной культуры населения в стране [2, 3, 15].

⁶ Аналитический отчет DISCOVERY Research group «Парк легковых автомобилей (Категория В) отечественных и зарубежных марок на 1.01.2008: по маркам и моделям» ?

В-третьих, численные значения относительной энтропии Hn для одной и той же региональной системы обеспечения БДД в основной своей массе должны соотноситься как $(Hn-3) > (Hn-4)$, т.к. чем больше звеньев причинно-следственной цепочки формирования дорожно-транспортной аварийности учтено при определении системной энтропии, тем ниже ее итоговое расчетное значение Hn . В случае, если для какого-то конкретного региона РФ численное значение относительной энтропии $(Hn-3)$ трехзвенного процесса формирования БДД ниже чем аналог $(Hn-4)$ для четырехзвенного процесса, т.е. $(Hn-3) < (Hn-4)$, то это значит, что в этом регионе сформировалась аномальная ситуация именно в звене «Пострадавшие в ДТП – Погибшие в ДТП». Причиной этому может быть любая из вышеназванных причин, а может быть и их совокупность. Так, на рис. 4 к числу таких регионов относятся регионы, идентифицируемые точками с координатами [0,707; 0,651] – Чеченская республика и [0,777; 0,747] – Республика Ингушетия.

К сожалению, в этих субъектах РФ уже давно сложилась особенная ситуация как с обеспечением БДД вообще [17], так и со спасением пострадавших в ДТП в частности [1]. Учет и идентификация причин рассогласования локаций отдельных экспериментальных точек, идентифицирующих состояние организованности конкретных региональных систем ОБДД относительно общероссийского тренда с успехом может быть основой решения целого ряда организационно-управленческих задач в сфере обеспечения БДД на федеральном уровне.

Практическое использование результатов исследований

Представленные выше методика и результаты энтропийного анализа качества управления БДД в отдельных регионах могут быть с успехом применены на федеральном уровне. Сегодня центральный аппарат Главного управления по обеспечению БДД МВД РФ и Научный центр безопасности ГИБДД, по мнению автора, могут испытывать некоторые трудности с идентификацией «узких мест» в процессе обеспечения безопасности дорожного движения именно в регионах страны, отличающихся крайним разнообразием характеристик внешней и внутренней среды. Использование представленной выше методики оценки относительной энтропии систем обеспечения БДД позволит специалистам ГИБДД МВД

РФ четко идентифицировать те проблемные аспекты процессов формирования дорожно-транспортной аварийности, на которые необходимо обращать особое внимание в конкретных регионах страны [18]. А это позволит корректировать направленность региональных Программ по БДД и значительно повысить эффективность весьма значительных финансовых затрат государства на реализацию целей по снижению смертности и ущербов всех видов на дорогах страны.

Основные выводы

Формализуя идеи, представленные в статье, резюмируем их в форме следующих выводов.

- Для транспортно-технологических систем характерны весьма высокие уровни хаотичности и малой прогнозируемости их состояния. Управлять такими системами сложно, а уровень их системной энтропии весьма велик.
- Качество управления БДД можно идентифицировать посредством энтропийных характеристик состояния управляемой системы – абсолютной и относительной энтропией, энтропийным коэффициентом подобия.
- Информационную энтропию региональных систем обеспечения БДД можно идентифицировать как потери информации в процессе ее передачи по причинно-следственному тракту, число элементов которого может варьироваться с учетом наличия информации и целей исследования.
- Сравнение численных значений энтропийных характеристик, полученных с использованием четырех- и трехзвенной методик, позволяет выявлять «узкие места» в процессе обеспечения безопасности дорожного движения в конкретных регионах страны, а значит, способствует корректированию подходов к решению важной государственной задачи народосбережения в сфере обеспечения БДД.
- Для управления БДД на федеральном уровне важно, прежде всего, понимание иерархии регионов страны с позиции фактического состояния дорожно-транспортной аварийности и осознание тех путей решения задачи снижения дорожно-транспортной аварийности, которые могут быть максимально эффективными в конкретном регионе. Вряд ли можно корректно решить эту задачу без оценки энтропии региональных систем обеспечения БДД. Именно поэтому необходимо развивать энтропийные подходы оценки качества управления безопасностью дорожного движения на федеральном уровне.

Литература

1. Аджемоглу Д., Робинсон Д. А. Почему одни страны богатые, а другие бедные. Происхождение власти, процветания и нищеты. – М.: Изд-во АСТ, 2015. – 693 с.
2. Блинкин М. Я., Решетова, Е. М. Безопасность дорожного движения: история вопроса, международный опыт, базовые институции. – М.: Изд. дом ВШЭ, 2013. – 240 с.
3. Вандербильт Т. Трафик. Психология поведения на дорогах. – М.: Манн, Иванов и Фарбер; Эксмо, 2013. – 432 с.

4. Вильсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 248 с.
5. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. – М.: Советское радио, 1968. – 325 с.
6. Винер Н. Кибернетика и общество. – М.: Изд-во иностр. лит., 1958. – 200 с.
7. Всемирный доклад о предупреждении дорожно-транспортного травматизма [Текст] / М. Педен и др. – М.: Изд-во «Весь мир», 2004. – 280 с.
8. Вучик В. Р. Транспорт в городах, удобных для жизни. – М.: Территория будущего, 2011. – 576 с.
9. Глушков В. М. Введение в кибернетику. – Киев: Изд-во Академии наук УССР, 1964. – 324 с.
10. Гринченко С. Н. Метаэволюция (систем неживой, живой и социально-технологической природы). – М.: ИПИ РАН, 2007. – 456 с.
11. Доклад НИУ ВШЭ «Безопасность дорожного движения в России: современное состояние и неотложные меры по улучшению ситуации. 2013» – М.: НИУ ВШЭ, 2013. – 25 с.
12. Жуков Н. И. Философские основы кибернетики. – Минск: Изд-во БГУ, 1976. – 224 с.
13. Зубаревич Н. В. Стратегия 2020. Тренды и приоритеты пространственного развития // Официальный сайт экспертных групп по обновлению «Стратегии – 2020». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://strategy2020.rian.ru/news/20110404/361067164.html>. (дата обращения: 12.08.2018).
14. Зырянов В. В., Миронюк В. П., Шабанов А. В. Методы формирования региональных транспортно-логистических систем. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГСУ, 2004. – 174 с.
15. Колесов В. И., Петров А. И. Анализ транспортной культуры населения // Транспорт: наука, техника, управление. – 2015. – № 6. – С. 20-22.
16. Колесов В. И., Петров А. И. Кибернетическое моделирование в задачах управления безопасностью дорожного движения // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: материалы международной научно-практической конференции. – СПб.: СПбГАСУ. – 2016. – С. 372-378.
17. Петров А. И. Особенности формирования автотранспортной аварийности в пространстве и времени. – Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 2015. – 254 с.
18. Фаттахов Т. Дорожно-транспортные происшествия и смертность в России: 1956-2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/dorozhno-transportnye-proisshestviya-i-smertnost-v-rossii-1956-2012> (дата обращения 19.10.2019).
19. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. – 832 с.
20. Шилейко А. В., Шилейко Т. И. Кибернетика без математики. – М.: Энергия, 1973. – 144 с.
21. Kolesov V., Petrov A. Cybernetic Modeling in Tasks of Traffic Safety Management // Transportation Research Procedia. – 2017. – № 20. – P. 305-310.
22. Petrov A., Kolesov V. Entropic analysis of dynamics of road safety system organization in the largest Russian cities // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 177. – 012015.
23. Petrov A., Evtuykov S., Kolesov V., Petrova D. Informational - entropic Analysis of Dynamics of Road Safety Orderliness // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 582. – 012021.

References

1. Adzhemoglu, D. Robinson, D.A. (2015) *Pochemu odni strany bogatye, a drugie bednye. Proiskhozhdenie vlasti, prosvetaniya i nishchety* [Why some countries are rich and others are poor. Origins of power, prosperity and poverty]. Moscow: Publishing house AST, 693 p.
2. Blinkin, M.Ya. (2013) *Bezopasnost' dorozhno-go dvizheniya: istoriya voprosa, mezhdunarodnyy opyt, bazovye institucii* [Road safety: history, international experience, basic institutions]. Moscow: HSE publishing house, 240 p.
3. Vanderbilt, T. (2013) *Trafik. Psihologiya povedeniya na dorogah* [Traffic. Psychology of behavior on the roads]. Moscow: Mann, Ivanov and Farber; Eksmo, 432 p.
4. Vil'son, A.D. (1978) *Entropijnye metody modelirovaniya slozhnyh system* [Entropy methods for modeling complex systems]. Moscow: The science, 248 p.
5. Wiener, N. (1968) *Kibernetika ili upravlenie i svyaz' v zhivotnom i mashine* [Cybernetics or the Control and Communication in the Animal and the Machine]. Moscow: Soviet radio, 325 p.
6. Wiener, N. (1958) *Kibernetika i obshchestvo* [Cybernetics and society]. Moscow: Foreign literature publishing house, 200 p.
7. *Vsemirnyy доклад o preduprezhdenii dorozhno-transportnogo travmatizma* (2004) [World report on the prevention of road traffic injuries] – Moscow: The whole world» 280 p.
8. Vuchik, V.R. (2011) *Transport v gorodah, udobnyh dlya zhizni* [Transportation for Livable Cities]. Moscow: The territory of the future, 576 p.
9. Glushkov, V.M. (1964) *Vvedenie v kibernetiku* [Introduction to Cybernetics]. Kiev: Ukrainian Academy of Sciences publishing house, 324 p.

10. Grinchenko, S.N. (2007) *Metaevolyuciya (sistem nezhivoj, zhivoj i social'no-tehnologicheskoy prirody)* [Metaevolution (systems of inanimate, living and socio-technological nature)]. Moscow: IPI RAS, 456 p.
11. *Doklad NIU VShE «Bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya v Rossii: sovremennoe sostoyanie i neotlozhnye mery po uluchsheniyu situacii. 2013»* (2013) [HSE report «Road Safety in Russia: current state and urgent measures to improve the situation. 2013»]. Moscow: HSE publishing house, 25 p.
12. Zhukov, N.I. *Filosofskie osnovy kibernetiki* (1976) [Philosophical foundations of Cybernetics]. Minsk: BSU Publishing house, 224 p.
13. Zubarevich, N.V. *Strategiya 2020. Trendy i priority prostranstvennogo razvitiya. Oficial'nyj sayt ekspertnyh grupp po obnovleniyu «Strategii – 2020»* [The 2020 strategy. Trends and priorities of spatial development]. Available at: <http://strategy2020.rian.ru/news/20110404/361067164.html>. (accessed: 12.08.2018) (In Russ.)
14. Zyryanov, V.V., Mironyuk, V.P., Shabanov, A.V. (2004) *Metody formirovaniya regional'nyh transportno-logisticheskikh sistem* [Methods of formation of regional transport and logistics systems]. Rostov-na-Donu: RGSU Publishing house, 174 p.
15. Kolesov, V.I., Petrov, A.I. (2015) [Analysis of transport culture of the population]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: science, technology, management]. Vol. 6, pp. 20-22. (In Russ.)
16. Kolesov, V.I., Petrov, A.I. (2016) [Cybernetic modeling in traffic safety management problems]. *Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya v krupnykh gorodakh: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Organization and traffic safety in large cities: proceedings of an international scientific and practical conference]. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, pp. 125-130 (in Russ.)
17. Petrov, A.I. (2015) *Osobennosti formirovaniya avtotransportnoj avariynosti v prostranstve i vremeni* [Features of formation of motor transport accident rate in space and time]. Tyumen': Publishing House of the TyumGNGU, 254 p.
18. Fattahov, T. (2012) *Dorozhno-transportnye proisshestviya i smertnost' v Rossii: 1956-2012* [Road accidents and deaths in Russia: 1956-2012]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/dorozhno-transportnye-proisshestviya-i-smertnost-v-rossii-1956-2012> (accessed 19.10.2019) (In Russ.)
19. Shannon, K. (1963) *Raboty po teorii informacii i kibernetike* [Works on information theory and Cybernetics]. Moscow: Foreign literature publishing house, 832 p.
20. Shilejko, A.V., Shilejko, T.I. (1973) *Kibernetika bez matematiki* [Cybernetics without mathematics]. Moscow: Energy, 144 p.
21. Kolesov, V., Petrov, A. (2017) Cybernetic Modeling in Tasks of Traffic Safety Management. *Transportation Research Procedia*. Vol. 20, pp. 305-310. (In Engl.)
22. Petrov, A., Kolesov, V. (2018) Entropic analysis of dynamics of road safety system organization in the largest Russian cities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 177. (In Engl.)
23. Petrov, A., Evtuykov, S., Kolesov, V., Petrova, D. (2019) Informational - entropic Analysis of Dynamics of Road Safety Orderliness. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 582. – 012021. (In Engl.)

Информация об авторе:

Артур Игоревич Петров, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия.

ORCID ID: 0000-0003-2634-0567, **Scopus Author ID:** 57191265004

e-mail: ArtIgPetrov@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 18.10.2019; принята в печать 29.11.2019.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Information about the author:

Artur Igorevich Petrov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Operation of automobile transport, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia.

ORCID ID: 0000-0003-2634-0567, **Scopus Author ID:** 57191265004

e-mail: ArtIgPetrov@yandex.ru

The paper was submitted: 18.10.2019.

Accepted for publication: 29.11.2019.

The author has read and approved the final manuscript.