



УДК 510.67,519.673

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНА РОССИИ

В. А. Кушников, А. С. Богомолов, К. Ю. Адамович

Кушников Вадим Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры математической кибернетики и компьютерных наук, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83; Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., Россия, 410054, Саратов, Политехническая, 77; Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук, Россия, 410028, Саратов, Рабочая, 24, kushnikoff@yandex.ru

Богомолов Алексей Сергеевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры математической кибернетики и компьютерных наук, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, Саратов, Астраханская, 83; Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук, Россия, 410028, Саратов, Рабочая, 24, alexbogomolov@ya.ru

Адамович Ксения Юрьевна, аспирант, Институт проблем точной механики и управления Российской академии наук, Россия, 410028, Саратов, Рабочая, 24, adamovich.ks@gmail.com

Разработан комплекс моделей для моделирования динамики ключевых показателей безопасности дорожно-транспортных систем регионов России. Показатели взяты из руководящих документов государственной инспекции безопасности дорожного движения. Комплекс моделей основан на системной динамике и включает граф причинно-следственных связей между показателями безопасности и систему нелинейных дифференциальных уравнений, построенную по этому графу. Решение этой системы позволяет осуществить анализ влияния внешних факторов на переменные модели и моделирование динамики этих переменных в зависимости от значений внешних факторов. Адекватность разработанного комплекса моделей была обоснована с использованием официальной статистики государственной инспекции безопасности дорожного движения. В соответствии с полученным решением осуществлено моделирование динамики количества дорожно-транспортных происшествий.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, автомобиль, безопасность дорожного движения, авария, причинно-следственный подход, модель системной динамики, модель Форрестера, модель Медоуза.

DOI: 10.18500/1816-9791-2018-18-2-240-248

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения безопасности функционирования и развития техногенных систем различного масштаба необходим учет комплекса их ресурсов [1–7]. Это позволяет анализировать, предупреждать сложные ситуации [8] и успешно применять современные вычислительные средства для решения возникающих проблем [9]. Одной из таких проблем является повышение безопасности транспортных систем. Научно-техническое обеспечение транспортной безопасности согласно ФЗ-16 «О транспортной безопасности» [10] является одной из целей обеспечения транспортной безопасности страны. Автомобили — самый популярный вид транспорта, и их количество в стране постоянно растет. Проблемой функционирования автотранспортной системы является большое количество аварий на дорогах.



Цель работы заключается в построении комплекса математических моделей и осуществлении математического моделирования динамики показателей безопасности региональной дорожно-транспортной системы России на различных интервалах времени.

Для достижения поставленной цели предлагается использовать математическую модель на основе системной динамики, позволяющую осуществлять прогноз показателей безопасности системы с учетом сложных взаимосвязей между этими показателями [11]. Суть метода системной динамики заключается в построении системы дифференциальных уравнений в зависимости от причинно-следственных связей, присутствующих в объекте прогнозирования. Решение полученной системы позволяет моделировать динамику переменных системы и анализировать влияние внешних факторов на эти переменные. Данный подход использовался при моделировании динамики показателей системы образования [12–16], национальной безопасности [17–23], авиационной транспортной системы [24], при прогнозировании последствий наводнений [25].

План решения задачи состоит в следующем.

1. Выбор переменных, характеризующих безопасность функционирования дорожно-транспортной системы, и внешних факторов, которые влияют на эти переменные; обоснование выбора.
2. Разработка схемы причинно-следственных связей переменных и внешних факторов.
3. Построение системы дифференциальных уравнений на основании разработанной схемы.
4. Решение системы дифференциальных уравнений, проверка адекватности и коррекция модели на данных статистики.
5. Математическое моделирование, численные эксперименты, анализ результатов, выводы.

1. ВЫБОР ПЕРЕМЕННЫХ СИСТЕМЫ

Необходимо определить переменные, влияющие на безопасность дорожно-транспортной системы региона страны, и разделить их на два вида: переменные системы и внешние факторы. Переменные системы влияют друг на друга, а факторы считаются независимыми от переменных системы, но сами влияют на них. Выбор переменных основывался на списке показателей безопасности дорожного движения из постановления Правительства РФ № 894 «Об утверждении Правил государственного учета показателей состояния безопасности дорожного движения органами внутренних дел Российской Федерации». Исходя из этого списка, были выделены переменные, обозначающие количество (в год): X_1 — ДТП в городах до 100 000 чел.; X_2 — ДТП в городах 100 000–500 000 чел.; X_3 — ДТП в городах 500 000–1000 000 чел.; X_4 — ДТП в городах от 1000 000 чел.; X_5 — ДТП на федеральных дорогах; X_6 — ДТП на региональных дорогах; X_7 — ДТП на местных дорогах; X_8 — пешеходов-нарушителей; X_9 — водителей-нарушителей; X_{10} — пассажиров-нарушителей; X_{11} — должностных лиц транспортных, дорожных, железнодорожных и иных организаций; X_{12} — административных правонарушений; а также X_{13} — преступлений. Кроме того, были выделены следующие внешние факторы (количество в регионе): F_1 — автомобилей (легковых, грузовых, автобусов); F_2 — моторных средств; F_3 — прицепов и полуприцепов; F_4 — населения; F_5 — минимальный штраф за нарушения ПДД; F_6 — экипажей ДПС на дорогах региона; F_7 — машин для уборки снега; F_8 — протяженность изношенных дорог; F_9 — работающих эвакуаторов; F_{10} — протяженность



участков дорог с фото-, видеонаблюдением; F_{11} — водителей со стажем до 2 лет; F_{12} — водителей со стажем 2–5 лет; F_{13} — водителей со стажем от 10 лет. Далее строился граф причинно-следственных связей.

2. РАЗРАБОТКА ГРАФА ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ

Причинно-следственные связи устанавливались на основании регрессионного анализа статистики и экспертных заключений. Разработанная схема этих связей (причинно-следственный граф) приведена на рис. 1. Вершины графа имеют два входа: со знаком «+», в которые входят все дуги от вершин, вызывающих рост соответствующей переменной (сплошные линии), и со знаком «-» для дуг от вершин, уменьшающих этот рост (пунктирные линии). Жирной линией выделены группы переменных с аналогичными причинно-следственными связями.

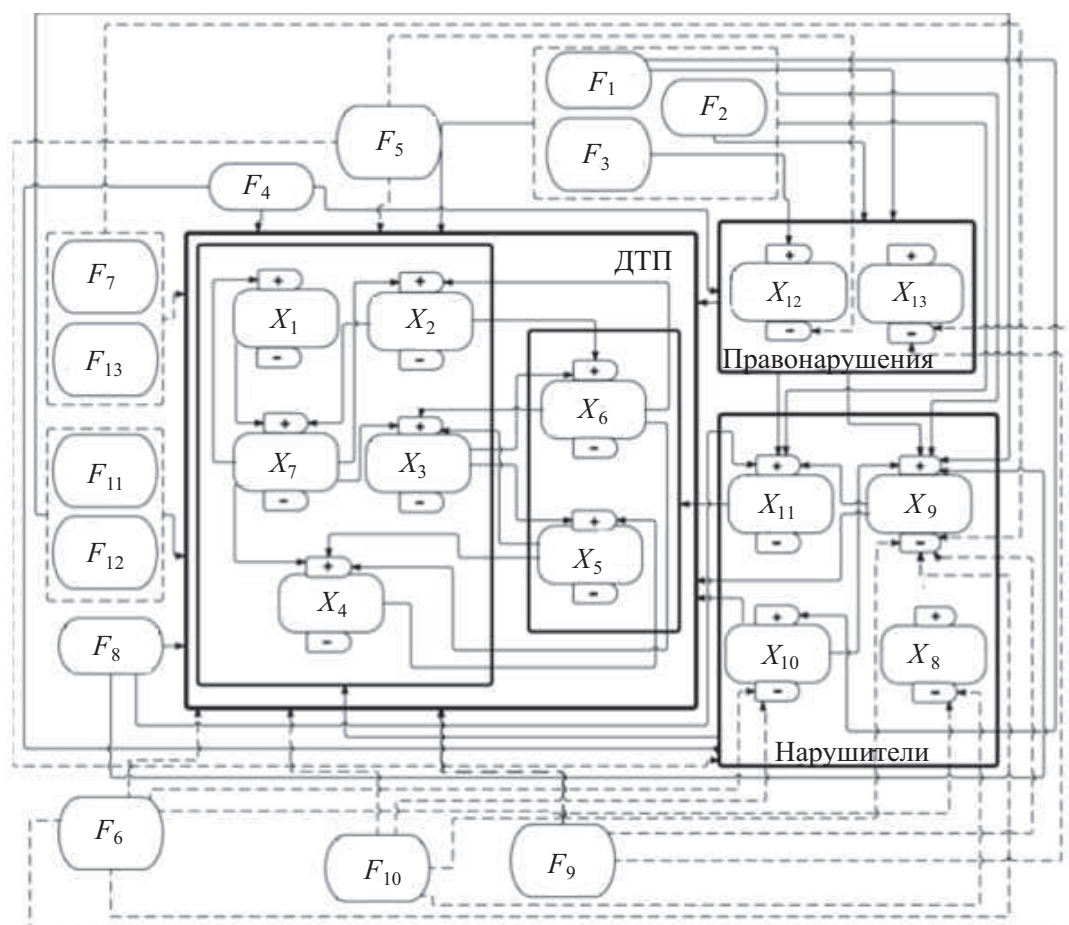


Рис. 1. Причинно-следственный граф показателей безопасности функционирования дорожно-транспортных систем

Fig. 1. Cause-effect graph of road safety performance indicators

На основе разработанного графа причинно-следственных связей строится система дифференциальных уравнений системной динамики.

3. ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

На основе разработанного графа для каждой переменной модели составляется дифференциальное уравнение вида

$$\frac{dX_i}{dt} = S_i^+ P_i^+ + S_i^- P_i^- ,$$



где S_i^+ и P_i^+ – сумма внешних факторов и произведение переменных, положительно влияющих на рост, а S_i^- и P_i^- – такие же выражения для отрицательно влияющих факторов и переменных. По данному принципу построена система дифференциальных уравнений, имеющая общий вид

$$\begin{aligned}
 dX_1/dt &= B_{1-7}(X_7) \dots B_{1-13}(X_{13})(F_1 + \dots + F_4 + F_8 + F_{11} + F_{12}) - \\
 &\quad - (F_5 + F_6 + F_7 + F_9 + F_{10} + F_{13}), \\
 dX_2/dt &= B_{2-6}(X_6) \dots B_{2-13}(X_{13})(F_1 + \dots + F_4 + F_8 + F_{11} + F_{12}) - \\
 &\quad - (F_5 + F_6 + F_7 + F_9 + F_{10} + F_{13}), \\
 dX_3/dt &= B_{3-5}(X_5) \dots B_{3-13}(X_{13})(F_1 + \dots + F_4 + F_8 + F_{11} + F_{12}) - \\
 &\quad - (F_5 + F_6 + F_7 + F_9 + F_{10} + F_{13}), \\
 dX_4/dt &= B_{4-5}(X_5) \dots B_{4-13}(X_{13})(F_1 + \dots + F_4 + F_8 + F_{11} + F_{12}) - \\
 &\quad - (F_5 + F_6 + F_7 + F_9 + F_{10} + F_{13}), \\
 dX_5/dt &= B_{5-3}(X_3)B_{5-4}(X_4)B_{5-9}(X_9) \dots B_{5-13}(X_{13})(F_1 + \dots + F_4 + F_8 + F_{11} + F_{12}) - \\
 &\quad - (F_5 + F_6 + F_7 + F_9 + F_{10} + F_{13}), \\
 dX_6/dt &= B_{6-2}(X_2)B_{6-3}(X_3)B_{6-9}(X_9) \dots B_{6-13}(X_{13})(F_1 + \dots + F_4 + F_8 + F_{11} + F_{12}) - \\
 &\quad - (F_5 + F_6 + F_7 + F_9 + F_{10} + F_{13}), \\
 dX_7/dt &= B_{7-1}(X_1)B_{7-2}(X_2)B_{7-9}(X_9) \dots B_{7-13}(X_{13})(F_1 + \dots + F_4 + F_8 + F_{11} + F_{12}) - \\
 &\quad - (F_5 + F_6 + F_7 + F_9 + F_{10} + F_{13}), \\
 dX_8/dt &= F_4 - F_5 - F_6 - F_{10}, \\
 dX_9/dt &= B_{9-10}(X_{10}) \dots B_{9-13}(X_{13})(F_1 + \dots + F_4 + F_8 + F_{11} + F_{12}) - \\
 &\quad - (F_5 + F_6 + F_7 + F_9 + F_{10} + F_{13}), \\
 dX_{10}/dt &= (F_1 + F_4) - (F_5 + F_6 + F_{10}), \\
 dX_{11}/dt &= (F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_8) - F_5, \\
 dX_{12}/dt &= (F_1 + F_2 + F_3 + F_4) - F_5, \\
 dX_{13}/dt &= (F_1 + F_2 + F_4 + F_{11}) - (F_6 + F_9),
 \end{aligned}$$

где $B_{a-b}(X_a)$ означает выражение зависимости переменной X_b от X_a . Значения коэффициентов в этих выражениях были подобраны на основании регрессионного анализа статистических данных. Внешние факторы были выражены как функции времени на основании интерполяции временных рядов их значений. При проведении расчетов и решении дифференциальных уравнений применяются статистические данные ГИБДД МВД РФ [26], нормированные относительно значений 2009 года. После определения конкретного числового вида выражений $B_{i-j}(X_j)$ и выражений для внешних факторов получаем систему нелинейных дифференциальных уравнений.

4. РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕШЕНИЯ

Решая построенную систему дифференциальных уравнений численным методом Рунге – Кутты 4-го порядка точности, получаем кривую «Количество ДТП в городах от 1 000 000 человек». Полученная кривая с графиком той же величины по статистическим данным приведена на рис. 2.

Можно отметить, что количество происшествий, определенное по разработанным моделям, по тенденции совпадает с данными статистики. Как видно из рис. 2, количество происшествий, рассчитанное в результате применения разработанной модели системной динамики, по тенденции совпадает с данными статистики о реальном ко-

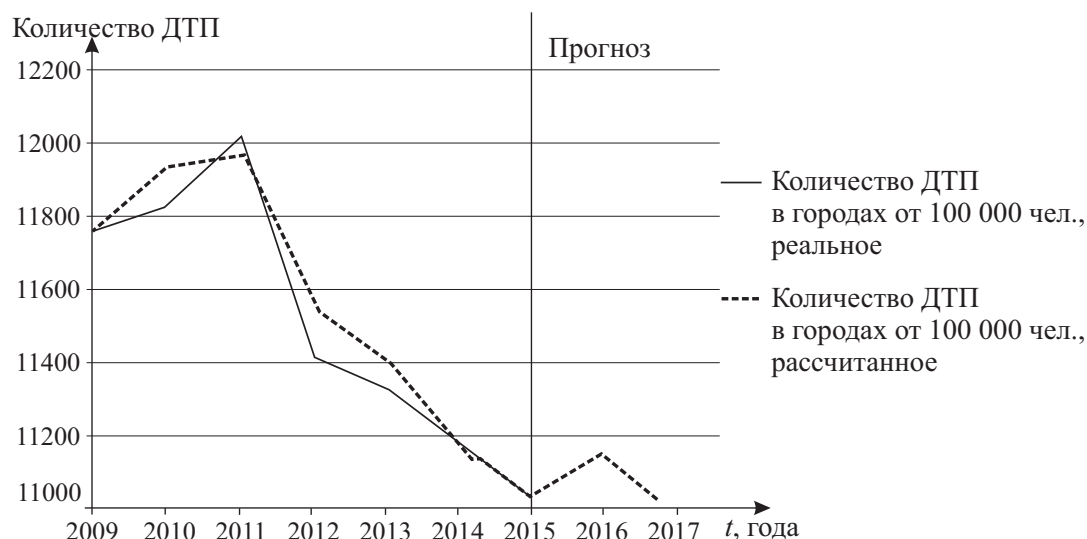


Рис. 2. Модельное и фактическое количество ДТП в городах России

Fig. 2. Model and actual number of accidents in Russian cities

личестве дорожно-транспортных происшествий. Проверим адекватность модели с использованием коэффициента детерминации. Для этого найдем остаточную и полную дисперсии и значение показателя коэффициента детерминации D . Если полученное значение больше заданного уровня значимости, то модель считается адекватной экспериментальным данным, в противном случае модель отвергается. Для разработанной модели $D = 0.954$, что говорит о возможности её применения, если уровень значимости составляет 95%.

Делая допущение, что зависимость между системными переменными и факторами остается постоянной и не меняется значительно с течением времени в исследуемый период, можно смоделировать динамику количество ДТП на ближайшие несколько лет. Опираясь на полученные результаты, можно предсказать незначительное увеличение количества ДТП относительно предыдущих лет. Предполагаемый рост ДТП можно объяснить увеличением количества автомобилей и пешеходов-нарушителей. Последующий спад количества происшествий вызван улучшением качества дорог, увеличением минимального штрафа за нарушения ПДД и в связи с этим уменьшением количества водителей-нарушителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлен разработанный комплекс математических моделей, позволяющий моделировать динамику и анализировать ключевые показатели безопасности дорожно-транспортных систем регионов России. В рамках разработки комплекса был построен причинно-следственный граф и система нелинейных дифференциальных уравнений системной динамики. Численное решение этой системы дало возможность смоделировать динамику количества дорожно-транспортных происшествий. Проверка адекватности показала соответствие полученных данных статистике ГИБДД.

Библиографический список

1. Клюев В. В., Резчиков А. Ф., Богомолов А. С., Уков Д. А., Филимонюк Л. Ю. Системный подход к задаче оценки остаточного ресурса человеко-машинных систем // Контроль. Диагностика. 2011. № 8. С. 9–13.
2. Богомолов А. С. Комплексный контроль ресурсов сложных человеко-машинных систем // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. 2013. Т. 13, вып. 3. С. 83–87.



3. Клюев В. В., Новожилов Г. В., Резчиков А. Ф., Богомолов А. С. Ресурсный подход к обеспечению безопасности систем «ЧЕЛОВЕК–ОБЪЕКТ–СРЕДА». М. : Издат. дом «Спектр», 2014. 158 с.
4. Новожилов Г. В., Резчиков А. Ф., Неймарк М. С., Богомолов А. С., Цесарский Л. Г., Филимонюк Л. Ю. Человеческий фактор в авиационно-транспортных системах // Полет. 2013. № 5. С. 3–10.
5. Клюев В. В., Резчиков А. Ф., Богомолов А. С., Кошечкина Е. М., Уков Д. А. Причинно-следственный подход к управлению ресурсом печи обжига при производстве цемента // Контроль. Диагностика. 2012. № 7. С. 30–36.
6. Клюев В. В., Резчиков А. Ф., Богомолов А. С., Филимонюк Л. Ю. Концепция комплексного ресурса для исследования безопасности систем человек–объект–среда // Контроль. Диагностика. 2013. № 8. С. 44–55.
7. Клюев В. В., Резчиков А. Ф., Богомолов А. С., Филимонюк Л. Ю. Взаимодействие ресурсов сложных человеко-машинных систем в критических ситуациях // Контроль. Диагностика. 2013. № 4. С. 41–45.
8. Клюев В. В., Резчиков А. Ф., Кушников В. А., Твердохлебов В. А., Иващенко В. А., Богомолов А. С., Филимонюк Л. Ю. Анализ критических ситуаций, вызванных неблагоприятным стечением обстоятельств // Контроль. Диагностика. 2014. № 7. С. 12–16. DOI: 10.14489/td.2014.07.pp.012-016
9. Богомолов А. С., Гапченко А. Ю., Васильев К. А. Параллельный подход к задачам моделирования человеко-машинных систем // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2012. № 4 (22). С. 26–28.
10. О транспортной безопасности : федеральный закон от 09.02.2007 № 16-ФЗ // Рос. газ. 2016. 28 июня. Федеральный выпуск № 7007 (139).
11. Форрестер Д. Мировая динамика / пер. с англ. М. : АСТ, 2003. 379 с.
12. Яндыбаева Н. В., Кушников В. А. Математическая модель для прогнозирования показателей аккредитации вуза // Управление большими системами. М. : ИПУ РАН, 2013. Вып. 41. С. 314–343.
13. Яндыбаева Н. В. Принцип системной динамики в управлении качеством образовательного процесса вуза // В мире научных открытий. 2010. № 2, ч. 3. С. 46–48.
14. Кушников В. А., Яндыбаева Н. В. Модель Форрестера в управлении качеством образовательного процесса вуза // Прикладная информатика. 2011. № 3 (33). С. 65–73.
15. Яндыбаева Н. В., Кушников В. А. Оценка качества образовательного процесса в вузе на основе модели Форрестера // Вестн. Саратов. техн. ун-та. 2011. Т. 2, № 1 (55). С. 176–181.
16. Яндыбаева Н. В., Кожанова Е. Р., Кушников В. А. Разработка программного продукта для определения эффективности деятельности высшего учебного заведения // Вестн. Саратов. техн. ун-та. 2014. № 2 (75). С. 214–219.
17. Клюев В. В., Резчиков А. Ф., Кушников В. А., Иващенко В. А., Богомолов А. С., Филимонюк Л. Ю., Яндыбаева Н. В. Математические модели для контроля, диагностики и прогнозирования состояния национальной безопасности России // Контроль. Диагностика. 2016. № 3. С. 43–51. DOI: 10.14489/td.2016.03.pp.043-051
18. Яндыбаева Н. В., Кушников В. А. Математическая модель для прогнозирования показателей экономической безопасности Российской Федерации // Вестн. Астрах. гос. техн. ун-та. Сер. управление, вычислительная техника и информатика. 2014. № 3. С. 93–101.
19. Яндыбаева Н. В., Кушников В. А. Математическая модель для прогнозирования изменений показателей национальной безопасности России // Научное обозрение. 2015. № 10–1. С. 115–121.
20. Резчиков А. Ф., Цвиркун А. Д., Кушников В. А., Яндыбаева Н. В., Иващенко В. А. Методы прогнозной оценки социально-экономических показателей национальной безопасности // Проблемы управления. 2015. № 5. С. 37–44.
21. Яндыбаева Н. В. Модель системной динамики для прогнозирования показателей национальной безопасности // Математические методы в технике и технологиях. ММТТ-27 :



- XXVII Междунар. науч. конф. : сб. тр. : в 12 т. Т. 7. Саратов : Изд-во Сарат. гос. техн. ун-та, 2014. С. 76–78
22. Цвиркун А. Д., Резчиков А. Ф., Яндыбаева Н. В., Кушников В. А. Имитационное моделирование показателей национальной безопасности РФ // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2014) : сб. науч. тр. М. : ИПУ РАН, 2014. С. 155–163.
 23. Яндыбаева Н. В., Кушников В. А. Модель Форрестера для прогнозирования показателей национальной безопасности России // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2015) : материалы Восьмой Междунар. конф. : в 2 т. Т. 1. М. : ИПУ РАН, 2015. С. 342–348.
 24. Адамович К. Ю. Математическая модель для прогнозирования значений показателей безопасности транспортной системы // Математические методы в технике и технологиях. ММТТ-28 : XXVIII Междунар. науч. конф. : сб. тр. : в 12 т. Т. 6. Саратов : Изд-во Сарат. гос. техн. ун-та, 2015. С. 146–150.
 25. Хамутова М. В., Кушников В. А. Модель для прогнозирования основных характеристик последствий наводнений // Математические методы в технике и технологиях. ММТТ-28 : XXVIII Междунар. науч. конф. : сб. тр. : в 12 т. Т. 6. Саратов : Изд-во Сарат. гос. техн. ун-та, 2015. С. 119–122.
 26. Динамика основных показателей аварийности за 7 лет // Госавтоинспекция МВД России : [сайт]. URL: <https://www.gibdd.ru/stat/charts/> (дата обращения 11.04.2016).

Образец для цитирования:

Кушников В. А., Богомолов А. С., Адамович К. Ю. Математическое моделирование динамики показателей безопасности дорожно-транспортной системы региона России // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. 2018. Т. 18, вып. 2. С. 240–248. DOI: 10.18500/1816-9791-2018-18-2-240-248

Mathematical Model for Predicting the Safety Parameters of Regional Road Transport System

V. A. Kushnikov, A. S. Bogomolov, K. Yu. Adamovich

Vadim A. Kushnikov, <https://orcid.org/0000-0002-9195-2546>, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia; Yuri Gagarin State Technical University of Saratov; 77, Politechnicheskaya Str., Saratov, 410054, Russia; Institute of Precision Mechanics and Control, Russian Academy of Sciences, 24, Rabochaya Str., Saratov, 410028, Russia, kushnikoff@yandex.ru

Aleksey S. Bogomolov, <https://orcid.org/0000-0002-6972-3181>, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia; Institute of Precision Mechanics and Control, Russian Academy of Sciences, 24, Rabochaya Str., Saratov, Russia, 410028, alexbogomolov@ya.ru

Kseniya Yu. Adamovich, <https://orcid.org/0000-0003-3867-1160>, Institute of Precision Mechanics and Control, Russian Academy of Sciences, 24, Rabochaya Str., Saratov, 410028, Russia, adamovich.ks@gmail.com

The set of models for prediction the main safety metrics of Russian regional road transport system is developed. The main metrics are taken from the documents the state inspection of traffic safety. This set of models is based on system dynamics and includes the graph of cause-effect relations between variables of the system and the system of nonlinear differential equations. Solving this system allows to analyze the impact of external factors to the variables of models. The adequacy of models was verified using the official statistics of the State Traffic Safety Inspectorate. In this paper presented the forecast of the traffic accidents count. According to the obtained solution the modeling of the traffic accidents dynamics was implemented.



Key words: traffic accident, car, traffic safety, accidents, cause-effect approach, system dynamics models, Forrester's model, Meadows model.

References

1. Klyuev V. V., Rezchikov A. F., Bogomolov A. S., Ukov D. A., Filimonyuk L. Yu. System Approach to a Problem of Appraisal of Man-Machine Systems' Remaining Life. *Kontrol'. Diagnostika* [Testing. Diagnostics], 2011, no. 8, pp. 9–13 (in Russian).
2. Bogomolov A. S. Integrated Resource Control of Complex Man-Machine Systems. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Math. Mech. Inform.*, 2013, vol. 13, iss. 3, pp. 83–87 (in Russian).
3. Klyuev V. V., Novozhilov G. V., Rezchikov A. F., Bogomolov A. S. *Resource Approach for Security of Systems „Man–Object–Environment“*. Moscow, Izdat. Dom „Spektr“, 2014, 158 p. (in Russian).
4. Novozhilov G. V., Rezchikov A. F., Neymark M. S., Bogomolov A. S., Tsesarskiy L.G., Filimonyuk L. Yu. Human Factor In Aviation Transport Systems. *Polyot* [Flight], 2013, no. 5, pp. 3–10 (in Russian).
5. Kluev V. V., Rezchikov A. F., Bogomolov A. S., Koshevaya E. M., Ukov D. A. Cause-Conditional Approach to Resource Management of Furnace in Cement Production. *Kontrol'. Diagnostika* [Testing. Diagnostics], 2012, no. 7, pp. 30–36 (in Russian).
6. Kluev V. V., Rezchikov A. F., Bogomolov A. S., Filimonyuk L. Yu. The Conception of Complex Resource for Research of „Man–Object–Environment“ Systems' Safety. *Kontrol'. Diagnostika* [Testing. Diagnostics], 2013, no. 8, pp. 44–55 (in Russian).
7. Kluev V. V., Rezchikov A. F., Bogomolov A. S., Filimonyuk L. Yu. Resources' Interaction of Complex Man-Machine Systems in Critical Situations. *Kontrol'. Diagnostika* [Testing. Diagnostics], 2013, no. 4, pp. 41–45 (in Russian).
8. Kluev V. V., Rezchikov A. F., Kushnikov V. A., Tverdokhlebov V. A., Ivashenko V. A., Bogomolov A. S., Filimonyuk L. Yu. An Analysis of Critical Situations Caused by Unfavorable Concurrence of Circumstances. *Kontrol'. Diagnostika* [Testing. Diagnostics], 2014, no. 7, pp. 12–16 (in Russian). DOI: 10.14489/td.2014.07.pp.012-016
9. Bogomolov A. S., Gapchenko A. Yu., Vasylev K. A. Concurrent Approach to the Problem of Modeling Man-Machine Systems. *Vector of sciences. Togliatti State University*, 2012, no. 4 (22), pp. 26–28 (in Russian).
10. On Transport Security : Federal Law of 09 February 2007 no. 16-FZ. *Rossiyskaya Gazeta* [Russian newspaper], 2016, 28 June, Federal issue no. 7007 (139) (in Russian).
11. Forrester J. W. *World Dynamics*. MIT Press, 1979. 142 p. (Russ. ed.: Moscow, AST, 2003. 379 p.).
12. Yandybaeva N. V., Kushnikov V. A. Mathematical model to predict higher school accreditation rates. *Large-scale Systems Control*. Moscow, ICS RAS, 2013, iss. 41, pp. 314–343 (in Russian).
13. Yandybaeva N. V. The Principle of System Dynamics for Higher School Educational Process Quality Control. *V Mire Nauchnykh Otkrytiy* [Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture], 2010, no. 2, pt. 3, pp. 46–48 (in Russian).
14. Kushnikov V. A., Yandybaeva N. V. Applying Forrester model for higher school educational process quality control. *Applied Informatics*, 2011, no. 3(33), pp. 65–73 (in Russian).
15. Yandybaeva N. V., Kushnikov V. A. Evaluation of the Quality of the Educational Process in High School on J. Forrester Model Base. *Vestnik Saratov State Technical University*, 2011, vol. 2, no. 1(55), pp. 176–181 (in Russian).
16. Yandybaeva N. V., Kozhanova E. R., Kushnikov V. A. Developing Software to Determine Effectiveness of a Higher School. *Vestnik Saratov State Technical University*, 2014, no. 2(75), pp. 214–219 (in Russian).



17. Kluev V. V., Rezchikov A. F., Kushnikov V. A., Ivaschenko V. A., Bogomolov A. S., Filimonyuk L. Yu., Yandybaeva N. V. The mathematical models for control, diagnostics and forecasting the national security of the Russian Federation. *Kontrol'. Diagnostika* [Testing. Diagnostics], 2016, no. 3, pp. 43–51 (in Russian). DOI: 10.14489/td.2016.03.pp.043-051
18. Yandybaeva N. V., Kushnikov V. A. Mathematical Model for Forecasting of Indicators of Economic Safety of the Russian Federation. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Ser.: Management, Computer Science and Informatics*, 2014, no. 3, pp. 93–101 (in Russian).
19. Yandybaeva N. V., Kushnikov V. A. Mathematical model for predicting changes in indicators of national security of Russia. *Nauchnoe Obozrenie* [Scientific Review], 2015, no. 10–1, pp. 115–121 (in Russian).
20. Rezchikov A. F., Tsvirkun A. D., Kushnikov V. A., Yandybaeva N. V., Ivaschenko V. A. Methods of predictive assessment of socio-economic indicators of national security. *Control Sciences*, 2015, no. 5, pp. 37–44 (in Russian).
21. Yandybaeva N. V. Model of system dynamics for predicting changes in indicators of national security. *Mathematical Methods in Technics and Technologies. MMTT–27*. Saratov, Izd-vo Sarat. gos. tekhn. un-ta, 2014, vol. 7, pp. 76–78 (in Russian).
22. Tsvirkun A. D., Rezchikov A. F., Yandybaeva N. V., Kushnikov V. A. Imitating modeling the parameters of Russian National Security. *Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnih sistem (MLSD'2014)*. Moscow, Institute of Precision Mechanics and Control, Russian Academy of Sciences, 2014, pp. 155–163 (in Russian).
23. Yandybaeva N. V., Kushnikov V. A. Forrester model for predicting changes in indicators of national security of Russia. *Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnih sistem (MLSD'2015)*. Moscow, Institute of Precision Mechanics and Control, Russian Academy of Sciences, 2015, vol. 1, pp. 342–348 (in Russian).
24. Adamovich K. Yu. Mathematical Model for Forecasting of Transport Systems' Safety Characteristics. *Mathematical Methods in Technics and Technologies. MMTT–28*. Saratov, Izd-vo Sarat. gos. tekhn. un-ta, 2015, vol. 6, pp. 146–150.
25. Khamutova M. V., Kushnikov V. A. Model for Forecasting of Flood Effects. *Mathematical Methods in Technics and Technologies. MMTT–28*. Saratov, Izd-vo Sarat. gos. tekhn. un-ta, 2015, vol. 6, pp. 119–122 (in Russian).
26. Dinamika osnovnykh pokazatelei avariinosti za 7 let (Dynamics of the main accident rates for 7 years). *Gosavtoinspektsiia MVD Rossii* (Russian Interior Ministry Traffic Police. Site). Available at: <https://www.gibdd.ru/stat/charts/> (Accessed 11 July 2016) (in Russian).

Cite this article as:

Kushnikov V. A., Bogomolov A. S., Adamovich K. Yu. Mathematical Model for Predicting the Safety Parameters of Regional Road Transport System. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Math. Mech. Inform.*, 2018, vol. 18, iss. 2, pp. 240–248 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9791-2018-18-2-240-248
