

# Моделирование и оценивание риска достижения планового среднего расстояния перевозки груза автомобильным транспортом России

д.т.н. П. В. Герасименко, д.т.н. В. А. Ходаковский

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I  
Санкт-Петербург, Россия  
pv39@mail.ru, hval104@mail.ru

**Аннотация.** Проведено моделирование и прогнозирование ключевого экономического показателя, определяющего стоимость доставки груза автомобильным транспортом. Используемый математический аппарат для проведения исследования позволил построить модель среднего расстояния доставки одной тонны груза и его верификацию, выполнить прогнозирование как точечное, так и интервальное, что позволило определить величину риска несвоевременной доставки груза. Для этого были использованы статистические данные по перевозке грузов автомобильным транспортом, охватывающие с 2004 по 2021 годы. Верификация осуществлена по результатам транспортировки груза в 2022 году. Математические модели были построены с помощью регрессионного анализа, реализация которого осуществлена в Excel.

**Ключевые слова:** моделирование, прогнозирование, оценивание, регрессия, коэффициент детерминации, точечная оценка, интервальная оценка, риск.

## ВВЕДЕНИЕ

Основные грузовые перевозки в России обеспечивает автомобильный транспорт совместно с трубопроводным и железнодорожным.

Как известно, в России, несмотря на необходимость доставки грузов на дальние расстояния, из-за недоступности дорог надлежащего качества автомобильный транспорт используется мало [1]. Однако для доставки определенных товаров (например, продуктов питания) его использование является лидирующим. Так, в 2018 году объем грузоперевозок (тоннаж перевезенных грузов) в России составил 8,3 млрд тонн, при этом наибольшая доля традиционно пришла на автомобильный транспорт — 67,1 %.

## ДИНАМИКА ГРУЗОБОРОТА АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Исследуя динамику изменения грузооборота за последние 5 допандемийных лет (2015–2019 гг.), установлено, что с каждым годом он увеличивался. Рост грузооборота на автомобильном транспорте произошел в связи с вводом в эксплуатацию большого количества новых высокоскоростных дорог. Увеличилось количество междугородных рейсов на расстояние от 300 км и более [2]. В таблице 1 представлена динамика роста суммарного объема груза, грузооборота и средней дальности доставки одной тонны груза автомобильным транспортом в РФ за период с 2004 по 2021 годы [3, 4].

Среднее расстояние (дальность) доставки одной тонны груза, представленное в таблице 1, определяется в результате деления величины грузооборота на суммарный объем груза. Оно служит в качестве одного из основных параметров работы транспорта, поэтому ее планируют в определенных условиях доставки, в предположении, что она будет с минимальным риском достигнута в реальных условиях транспортирования.

Вместе с тем реальные условия сохраняются неопределенными вплоть до доставки груза. Поэтому на этапе принятия решения на начало транспортирования субъект, принимающий его, по опыту или статистическим данным среднего расстояния устанавливает возможные варианты отклонения его от плановой величины. Приняв решение на начало перевозки, он рискует, что реальное расстояние не будет достигнуто.

Таблица 1

Основные показатели доставки груза автомобильным транспортом по годам

Год доставки груза	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Суммарный объем груза, млн т	6 568	6 685	6 753	6 861	6 893	5 240	5 236	5 663	5 829
Грузооборот, млрд т км	182	194	199	206	216	180	199	223	249
Средняя дальность, км	28	29	29	30	31	34	38	39	43
Год доставки груза	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Суммарный объем груза, млн т	5 635	5 417	5 357	5 395	5 404	5 544	5 735	5 405	5 491
Грузооборот, млрд т км	250	247	247	248	255	259	275	272	285
Средняя дальность, км	44	46	46	46	47	47	48	50	52

Как известно, риск возникает тогда, когда существует неопределенность в достижении конечной цели функционирования объекта транспортировки в реальных условиях внешней среды, которые могут быть отличными от заданных для объекта условий [5]. Для оценивания величины риска необходимо расчетный аппарат транспортировки груза рассматривать как функционирование сложной системы. В первую очередь субъектом должна быть поставлена цель, которая оценивается предметным показателем или комплексом показателей. Для ее достижения должен функционировать в условиях неопределенности объект, на начало функционирования которого должен принимать решение субъект.

Обычно цель выражается в достижении определенного состояния системы либо определенных значений параметров системы. Неопределенность является неотъемлемым атрибутом перед принятием решения субъектом на функционирование объекта. Это достаточно широкое понятие, поскольку отображает, прежде всего, объективную невозможность получения абсолютных знаний о внутренних и внешних условиях функционирования объекта во внешней среде, а также неоднозначность ее параметров. Обычно под неопределенностью понимают отсутствие полной информации о функционировании объекта, невозможность точного предсказания будущего в достижении конечной цели. Вместе с тем процесс достижения поставленной цели субъект перед принятием решения должен оценить либо на основании опыта, либо путем моделирования.

В большинстве случаев субъект, который принимает решение на функционирование объекта, не знает всей совокупности факторов, влияющих на конечную цель функционирования объекта, поэтому вынужден принимать ряд гипотез, прежде чем строить модель функционирования объекта. Именно здесь закладываются основы неопределенности в достижении конечной цели. Мету неопределенности для некоторого случайного события оценивают вероятностью безопасно достичь поставленную цель системы. Очевидно, безопасность и риск составляют полную группу событий. Следовательно, риск можно измерять вероятностью, вычисленную путем вычитания из единицы вероятности безопасного достижения цели.

Таким образом, риск можно определить, как поступок (действие) субъекта принять решение на функционирование объекта, направленное на достижение планируемой цели системы в условиях неопределенности ее достижения.

Тогда, применительно к решаемой задаче, под показателем риска недостижения среднего расстояния доставки груза автомобильным транспортом следует понимать субъективную характеристику меры отклонения планируемого расстояния от показателя, смоделированного в условиях неопределенности.

Исходя из определения риска и его показателя, методика вычисления вероятности недостижения планового показателя будет включать следующие основные этапы:

- построить по статистическим данным результатов доставки груза математическую модель целевого показателя в виде аналитической функции регрессии зависимости среднего расстояния от года транспортировки груза;
- проверить качество модели с помощью погрешностей аппроксимации, коэффициента детерминации и статистической значимости модельной функции регрессии;
- выполнить точечную и интервальную оценки прогнозной величины показателя цели, которая позволит установить левую и правую интервальную границы показателя цели;
- расположить между доверительными границами среднего расстояния плановое значение, разбив тем самым доверительный интервал на рабочую и критическую области;
- определить показатель риска недостижения планового значения.

В качестве показателя конечной цели в работе принята вероятность недостижения планового значения среднего расстояния, которая определяется путем попадания в критическую область прогнозного интервального значения величины среднего расстояния. В свою очередь, доверительный интервал среднего расстояния строится по ее модели [6].

Для определения вероятности необходимо принять закон распределения достижения величины показателя цели, например нормальный закон, как показано на рисунке 1 для плотности.

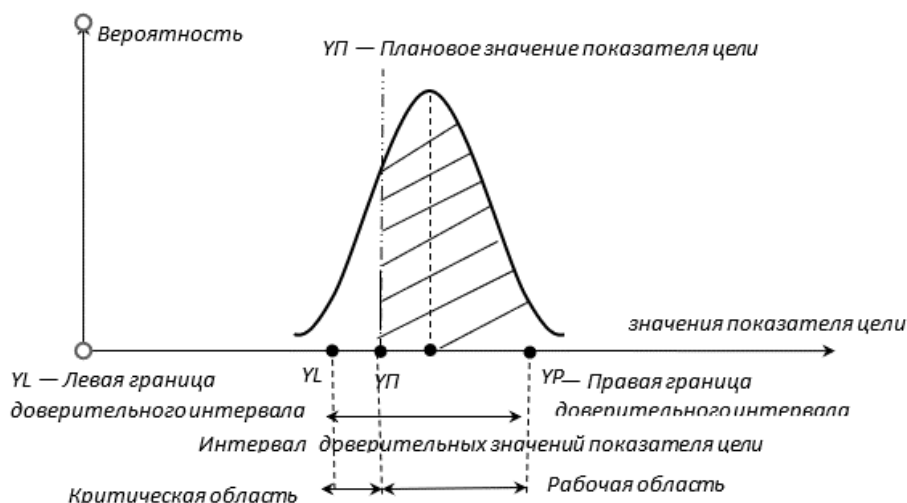


Рис. 1. Схема, поясняющая определение показателя риска

Согласно этапам исследования и по представленным в таблице 1 статистическим данным построена линейная математическая модель изменения средней дальности от года доставки груза. Аналитическая зависимость, ее график и коэффициент детерминации, которые определены по модели, представлены на рисунке 2.

Для проверки качества модели использован инструмент «Регрессия» надстройки «Пакет анализа» Excel [7].

Инструмент «Регрессия» пакета анализа данных Excel позволил по статистическим данным получить кроме значений выборочных коэффициентов линейной регрессии, корреляции и детерминации, также разложения общей суммы квадратов на объясненную и остаточную и расчетное значение *F*-статистики. Основные величины применения инструмента «Регрессия» представлены в таблице 2.



Рис. 2. График линейной аналитической зависимости и коэффициент детерминации

Таблица 2

Выборочные оценки параметров применения инструмента «Регрессия»

Коэффициенты линейной регрессии		Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	Статистика Фишера
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	<i>F</i>
-2 949	1,4856	0,97	0,95	288
Суммы квадратов разностей		Общая	Факторная	Остаточная
		1 129	1 069	60

Из таблицы 2 и рисунка 2 вытекает величина коэффициента детерминации, равная 0,95. Следовательно, связь между результатом реализации модели и действительным значением доставки грузов весьма тесная и соответствует 95 %. Расчет величины статистики Фишера показывает, что ее значение, равное 288, существенно больше табличной, равной 4,5, что свидетельствует о том, что факторная дисперсия значительно превышает остаточную. Тогда можно сделать вывод, что связь между средним расстоянием доставки груза и годом транспортировки достаточно тесная [6].

На основании опытных статистических данных и результатов модельных аналитических расчетов в таблице 3 представлены абсолютные и относительные погрешности.

Анализ таблицы 3 показывает, что ошибка аппроксимации не превышает абсолютного значения среднего расстояния на величину 1 697 км, а относительную — на 10,05 %. Таким образом, можно сделать вывод, что построенная математическая модель применима для проведения прогноза, поскольку 3 качественных показателя (погрешность и коэффициент детерминации) соответствуют требованиям.

Таблица 3

Абсолютная и относительная погрешности модели

Год доставки груза	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Расчетные значения	26,6	28,1	29,6	31,1	32,6	34,1	35,6	37,0	38,5
Абсолютная погрешность, км	0,06	0,15	0,71	1,20	1,30	0,48	0,67	0,61	1,61
Относительная погрешность, %	0,010	0,080	1,760	5,090	5,910	0,810	1,610	1,330	9,050
Год доставки груза	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Расчетные значения	40,0	41,5	43,0	44,5	45,9	47,4	48,9	50,4	51,9
Абсолютная погрешность, км	1,69	1,56	1,04	0,17	0,03	1,02	1,15	0,68	0,63
Относительная погрешность, %	10,000	8,510	3,770	0,100	0,003	3,630	4,650	1,610	1,380

Как известно, на доставку перевозимых грузов и грузооборот оказывает влияние множество случайных факторов, которые вызывают разброс статистических опытных данных [8]. Этот разброс потребовал осуществить интер-

вальный прогноз в дополнение к точечному прогнозу. Результаты их представлены на рисунке 3 в виде границ доверительных интервалов среднего расстояния относительно точечного прогноза с 2022 по 2025 год.

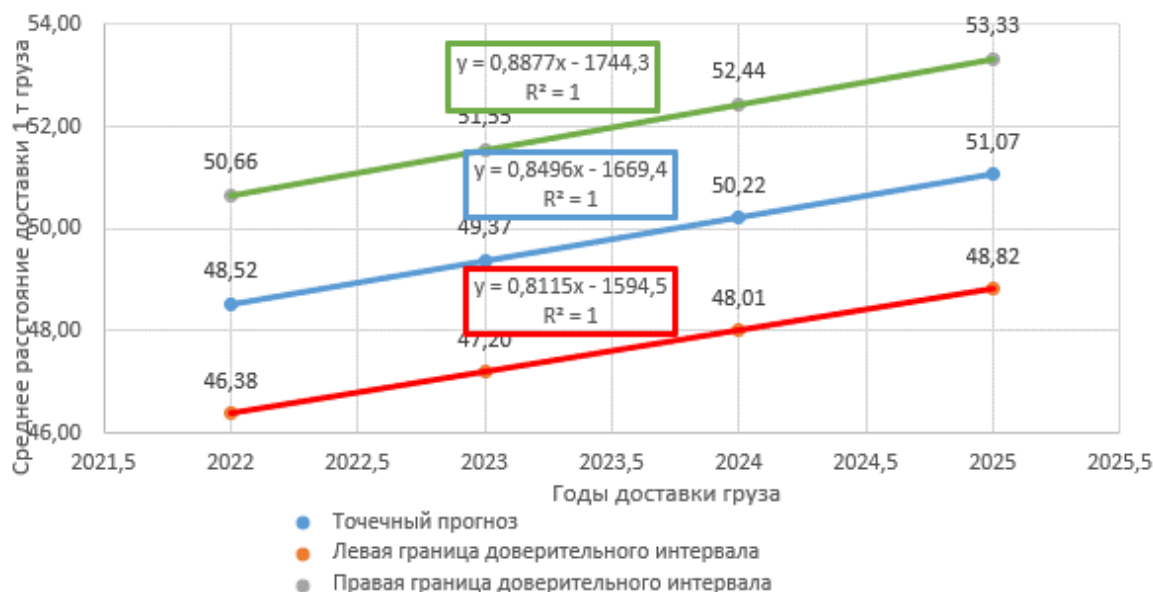


Рис. 3. Графическое представление результатов точечного и интервального прогнозов

Под интервальным прогнозом в работе понимается множество значений среднего расстояния, которое включено в доверительный интервал возможных значений. Тем самым, в работе на примере статистических годовых данных грузооборота и суммарного объема доставленного груза построена математическая модель средней дальности доставки груза и выполнено прогнозирование как точечного, так и интервального значений среднего расстояния доставки одной тонны груза в 2022–2025 годах в РФ.

Располагая интервальным значением среднего расстояния доставки одной тонны груза, при принятом нормальном законе плотности распределения этой величины в пределах доверительного интервала и заданной плановой величине средней дальности по соотношениям теории вероятностей вычислена вероятность достижения поставленной цели, а именно вероятность превышения средней дальности доставки груза автомобильным транспортом в 2025 году.

Для случая оценки вероятности достижения средних расстояний доставки груза автомобильным транспортом в 2025 году функция плотности вероятности, распределенная по нормальному закону, примет следующие параметры: математическое ожидание, в качестве которого выступает точечный прогноз, равен  $\hat{Y}_{2025} = 51,08$  км и среднеквадратическое отклонение, вычисленная как одна шестая длины интервала,  $S_Y = 1\,685$  км. Тогда плотность распределения вероятности примет вид:

$$f(Y) = \frac{1}{1,685 \times \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(Y - 51,08)^2}{2 \times 1,685^2} \right]$$

Исходя из нормальной плотности распределения среднего расстояния, легко определить вероятность превышения планового значения среднего расстояния по формуле:

$$P(Y \leq Y_{пл}) = \int_{Y_{пл}}^{Y^P} \frac{1}{1,685 \times \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(Y - 51,08)^2}{2 \times 1,685^2} \right] dY =$$

$$= \frac{1}{1,685 \times \sqrt{2\pi}} \int_{52,2}^{53,33} \exp \left[ -\frac{(Y - 51,08)^2}{2 \times 1,685^2} \right] dY = 0,26.$$

Наконец, риск недостижения поставленной целевой задачи равна единице минус вероятность превышения плана. Соответственно, показатель риска как вероятность недостижения плана (вероятность попасть в критическую область) равен 0,74. Таким образом, достижение планового среднего расстояния на 1 км в 2025 году маловероятно, если тренд изменения по годам и принятое в статье плановое значение этого показателя будут сохранены до 2025 года. Дальнейшее развитие методического аппарата целесообразно направить на его развитие применительно к перемещению грузов по международным транзитным транспортным коридорам, а также для определения соответствия моделируемого маршрута транспорта фактическому времени в пути [9, 10].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Куренков, П. В. Моделирование топологии взаимодействия элементов и потоков различных типов в системе внешнеторговых перевозок // *Интеллектуальные технологии на транспорте*. 2020. № 2 (22). С. 5–17.
2. Василенко, М. А. Динамика грузооборота по видам грузов и формам транспортного обслуживания / М. А. Василенко, А. М. Васильченко, С. В. Семибратова // *Материалы XIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум 2021»* (Сочи, Россия, 07–10 ноября 2021 г.). URL: <http://scienceforum.ru/2021/article/2018026220> (дата обращения 11.08.2023).

3. Транспорт в России. 2022: Статистический сборник / Федеральная служба государственной статистики (Росстат). — Москва, 2022. — 101 с.

4. Транспорт в России. 2020: Статистический сборник / Федеральная служба государственной статистики (Росстат). — Москва, 2020. — 108 с.

5. Герасименко, П. В. Оценивание рисков необеспечения своевременной доставки груза железнодорожным транспортом / П. В. Герасименко, Г. Б. Титов // Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте (ЭКУЖТ 2013): Материалы VIII Международной научно-практической конференции (Судак, Украина, 08–11 октября 2013 г.). — Киев: Гос. экономико-технологический ун-т транспорта, 2013. — С. 293–295.

6. Герасименко, П. В. Метод моделирования риска при повышении стоимости услуг // Известия Международной академии наук высшей школы. 2011. № 2 (56). С. 64–70.

7. Кударов, Р. С. Мониторинг пассажиропотоков, формирующих входной пассажиропоток на станции «Пушкинская» в часы пик / Р. С. Кударов, П. В. Герасименко // Шаг в будущее (Неделя науки-2006): Материалы научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / под ред. В. В. Сапожникова. — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2006. — С. 189–191.

8. Гарбарук, В. В. Оценка рисков отцепки вагонов в пути следования / В. В. Гарбарук, А. Е. Красковский, В. Н. Фоменко // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2015. № 1 (1). С. 11–17.

9. Kesting, A. Enhanced Intelligent Driver Model to Access the Impact of Driving Strategies on Traffic Capacity / A. Kesting, M. Treiber, D. Helbing // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2010. Vol. 368, Is. 1928. Pp. 4585–4605. DOI: 10.1098/rsta.2010.0084.

10. Simulation Model of Transport Traceability System for Transit Customs Goods within the EEU / D. Akhmedov, D. Yeryomin, D. Zhaxygulova, S. Trepashko // Transport and Telecommunication. 2019. Vol. 20, No. 2. Pp. 133–141. DOI: 10.2478/ttj-2019-0012.

# Modeling and Assessing the Risk of Achieving the Planned Average Distance of Cargo Transportation by Road Transport in Russia

Grand PhD P. V. Gerasimenko, Grand PhD V. A. Khodakovsky  
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University  
Saint Petersburg, Russia  
pv39@mail.ru, hval104@mail.ru

**Abstract.** Modeling and forecasting of a key economic indicator that determines the cost of cargo delivery by road has been carried out. The mathematical apparatus used for the study made it possible to build a model of the average delivery distance of one ton of cargo and its verification, to perform model point and interval forecasting and assessed the risk of untimely delivery of cargo. The mathematical model and forecast were made on a sample of statistical data from 2004 to 2021, the years of cargo transportation by road in the Russian Federation. Verification was carried out based on the results of cargo transportation in 2022. The model is based on regression analysis and the least squares method. The calculation apparatus is implemented using the Excel.

**Keywords:** modeling, forecasting, estimation, regression, coefficient of determination, point estimation, interval estimation, risk.

## REFERENCES

1. Kurenkov P. V. Modeling the Topology of the Interaction of Elements and Flows of Various Types in the System of Foreign Trade Transportation [Modelirovanie topologii vzaimodeystviya elementov i potokov razlichnykh tipov v sisteme vneshnetorgovykh perevozok], *Intellectual Technologies on Transport [Intellektualnye tekhnologii na transporte]*, 2020, No. 2 (22), Pp. 5–17.

2. Vasilenko M. A., Vasilchenko A. M., Semibratova S. V. The Dynamics of Cargo Turnover by Types of Cargo and Forms of Transport Services [Dinamika gruzooborota po vidam gruzov i formam transportnogo obsluzhivaniya], *Materials of the XIII International Student Scientific Conference «Student Scientific Forum 2021» [Materialy XIII Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchnoy konferentsii «Studencheskiy nauchnyy forum 2021»]*, Sochi, Russia, November 07–10, 2021. Available at: <http://scienceforum.ru/2021/article/2018026220> (accessed 11 Aug 2023).

3. Transport in Russia 2022: Statistical collection [Transport v Rossii. 2022: Statisticheskiy sbornik]. Moscow, Federal State Statistics Service (Rosstat), 2022, 101 p.

4. Transport in Russia 2020: Statistical collection [Transport v Rossii. 2020: Statisticheskiy sbornik]. Moscow, Federal State Statistics Service (Rosstat), 2020, 108 p.

5. Gerasimenko P. V., Titov G. B. Risk assessment of Failure to Ensure Timely Delivery of Cargo by Rail [Otse-nivanie riskov neobespecheniya svoevremennoy dostavki gruz-a zheleznodorozhnym transportom], *Problems of Economics*

and Management in Railway Transport (EKUZHT 2013): Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference [Problemy ekonomiki i upravleniya na zheleznodorozhnom transporte (EKUZHT 2013): Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii], Sudak, Ukraine, October 08–11, 2013. Kyiv, State Economic and Technological University of Transport, 2013, Pp. 293–295.

6. Gerasimenko P. V. Method of risk modeling when the cost of services increases [Metod modelirovaniya riska pri povyshenii stoimosti uslug], *Proceedings of the International Higher Education Academy of Sciences [Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii nauk vysshey shkoly]*, 2011, No. 2 (56), Pp. 64–70.

7. Kudarov R. S., Gerasimenko P. V. Monitoring of Passenger Flows Forming the Entrance Passenger Flow at Pushkinskaya Station During Rush Hours [Monitoring passazhiropotokov, formiruyushchikh vkhodnoy passazhiropotok na stantsii «Pushkinskaya» v chasy pik], *Step into the Future (Science Week–2006): Materials of the Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists [Shag v budushchee (Nedelya nauki-2006): Materialy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh]*. Saint Petersburg, St. Petersburg State Transport University, 2006. Pp. 189–191.

8. Garbaruk V. V., Kraskovsky A. E., Fomenko V. N. Assessment of Risks Due to In-Transit Uncoupling of Cars [Otsenka riskov ottsepki vagonov v puti sledovaniya], *Intellectual Technologies on Transport [Intellektualnye tekhnologii na transporte]*, 2015, No 1 (1), Pp. 11–17.

9. Kesting A., Treiber M., Helbing D. Enhanced Intelligent Driver Model to Assess the Impact of Driving Strategies on Traffic Capacity, *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2010, Vol. 368, Is. 1928, Pp. 4585–4605. DOI: 10.1098/rsta.2010.0084.

10. Akhmedov D., Yeryomin D., Zhaxygulova D., Trepashko S. Simulation Model of Transport Traceability System for Transit Customs Goods within the EEU, *Transport and Telecommunication*, 2019, Vol. 20, No. 2, Pp. 133–141.

DOI: 10.2478/tj-2019-0012.