

УДК 625.033.34

## Сравнение годовых грузооборотов железнодорожного и автомобильного транспортов РФ: моделирование, верификация, точечный и интервальный прогноз

**П. В. Герасименко**

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

*Для цитирования:* Герасименко П. В. Сравнение годовых грузооборотов железнодорожного и автомобильного транспортов РФ: моделирование, верификация, точечный и интервальный прогноз // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2024. Т. 21, вып. 2. С. 517–524. DOI: 10.20295/1815-588X-2024-02-517-524

### Аннотация

**Цель:** проведено исследование сравнения грузооборотов железнодорожного и автомобильного транспортов РФ за последнее двадцатилетие и выполнена прогнозная оценка. Сравнительное оценивание осуществлено с помощью показателя, характеризующего превышение грузооборота железнодорожного над автомобильным транспортом. Исследование включает следующие основные этапы: моделирование по наблюдаемым на опыте годовым значениям грузооборота; верификацию модели путем сравнения модельного и опытного значений в годы, не участвующие в построении модели; модельное точечное и интервальное прогнозирование; анализ по прогнозу тенденции изменения. **Методы:** для построения математической модели, ее апробации и проведения прогнозирования использован ряд теоретических положений эконометрики. Математическая модель превышения грузооборота железнодорожного над автомобильным транспортом в зависимости от года доставки грузов построена по выборке статистических данных Росстата с 2004 по 2021 год. Верификация модели выполнена по результатам грузооборота 2022 и 2023 года. **Результаты:** качество построенной модели оценивалось по следующим показателям: погрешности аппроксимации, коэффициентам корреляции и детерминации, критерию Фишера. Сравнение наблюдаемых и модельных значений превышения грузооборота показало, что они в период с 2004 по 2021 год по приведенным показателям имеют незначительные отклонения. Выполненная верификация подтвердила удовлетворительное моделирование. **Практическая значимость:** проведенное исследование показало возможность осуществлять по изложенному алгоритму исследования результатов проведения транспортных операций и обоснованно принимать управленческие решения на начало их проведение. **Рекомендации:** продолжать совершенствование аппарата моделирования и прогнозирования с учетом оценивания показателей риска.

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

В формировании государственного бюджета Российской Федерации огромную роль как непосредственно, так и опосредованно оказывают грузоперевозки, поскольку производство практически всех отраслей во многом зависит от них. Во всей транспортной

системе РФ значимость железнодорожной и автомобильной отраслей является главенствующей, а их личный вклад трудно переоценить. Их значимость обусловлена прежде всего дальностью и массовой перевозкой грузов, необходимых как для населения,

так и для всех отраслей экономики. Кроме того, они осуществляют доставку груза в любой период времени суток и года.

Поскольку перспективы экономики связаны с ее ростом, то и роль этих видов транспорта также должна расти. Важно при этом оценить эффективность их роста путем сравнения динамики такого важного показателя, как грузооборот. Одним из существенных факторов грузоперевозок является своевременная доставка груза. Именно она формирует общественное мнение о грузовых компаниях, осуществляющих перевозку груза.

В 2022 году железнодорожным транспортом в России было перевезено 1,351 млрд т грузов, что на 3,8 % меньше, чем в 2021-м. Грузооборот в 2022 году остался практически неизменным. Объем автомобильных перевозок вырос на 11 % за 2022 год. Несмотря на ограничения внешней торговли с западными странами, все же за январь — июль 2023 года он увеличился на 2,1 % к аналогичному периоду прошлого года. Это позволило автомобильным перевозкам в силу их меньшей зависимости от инфраструктуры компенсировать снижение отчасти железнодорожных перевозок. Доля автомобильного транспорта в общем объеме грузоперевозок в 2022 году выросла с 67,6 до 70,7 %. В начале прошлого года после введения санкций темпы роста грузоперевозок обогнали темпы роста грузооборота, то есть совершались более короткие поездки [1].

Целью настоящей работы является сравнительный анализ изменения грузооборотов железнодорожного и автомобильного транспортов и проведение прогноза динамики превышения грузооборота железнодорожного транспорта над автомобильным. Достижение сформулированной цели предполагает решение следующих основных задач: построение модели зависимо-

сти превышения грузооборота железнодорожного транспорта над автомобильным от года доставки груза; проверку качества модели; точечный и интервальный прогнозы.

Следует заметить, что на процесс перевозки груза оказывают много негативных, как внутренних, так и внешних случайных факторов. Именно их влияние не позволяет своевременно, в плановые сроки доставлять груз. Поэтому при проведении сравнительного прогноза грузооборота железнодорожного и автомобильного транспорта необходимо учитывать тот факт, что грузооборот является случайной величиной. Это требует применения прогнозного аппарата, который позволит оценивать не только точечную, но и интервальную сравнительную динамику. В настоящей работе для проведения исследования сравнения грузооборота двух базовых транспортов в РФ используется методика [2].

Железная дорога и автомобильный транспорт постоянно проводят мониторинг доставки груза. Количественные величины грузооборотов железной дорогой ОАО «РЖД» и автомобильного транспорта, достигнутые за 18 лет, согласно годовым отчетам журнала «Транспорт России» за период с 2004 по 2021 год [3], а также вычисленное превышение первого над вторым, представлены в табл. 1.

Используя представленные в табл. 1 превышения грузооборота железнодорожного транспорта над автомобильным, вычисленные по статистическим данным обеих транспортов, и применяя принятый математический аппарат, реализованный в Excel, были построены линейная, степенная и показательная регрессионные модели. На рис. 1 представлены значения превышения наблюдаемого грузооборота по годам, график линейной модели, ее аналитический вид и коэффициент детерминации.

ТАБЛИЦА 1. Динамика грузооборота за 2004–2021 годы\*, млрд т·км

Год доставки груза	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Порядковый номер года	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Грузооборот железнодорожного транспорта, млрд т·км	1802	1856	1951	2090	2116	1865	2 011	2128	2222
Грузооборот автомобильного транспорта, млрд т·км	182	194	199	206	216	180	199	223	249
Превышение грузооборота ж/д транспорта над автомобильным	1620	1662	1752	1884	1900	1685	1812	1905	1973
Год доставки груза	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Порядковый номер года	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Грузооборот железнодорожного транспорта, млрд т·км	2196	2301	2 306	2344	2493	2598	2 602	2 545	2 639
Грузооборот автомобильного транспорта, млрд т·км	250	247	247	248	255	259	275	272	285
Превышение грузооборота железной дороги над автомобильным транспортом	1946	2054	2059	2096	2238	2339	2327	2273	2354

Источник: годовые отчеты журнала «Транспорт России» за 2004–2021 годы.

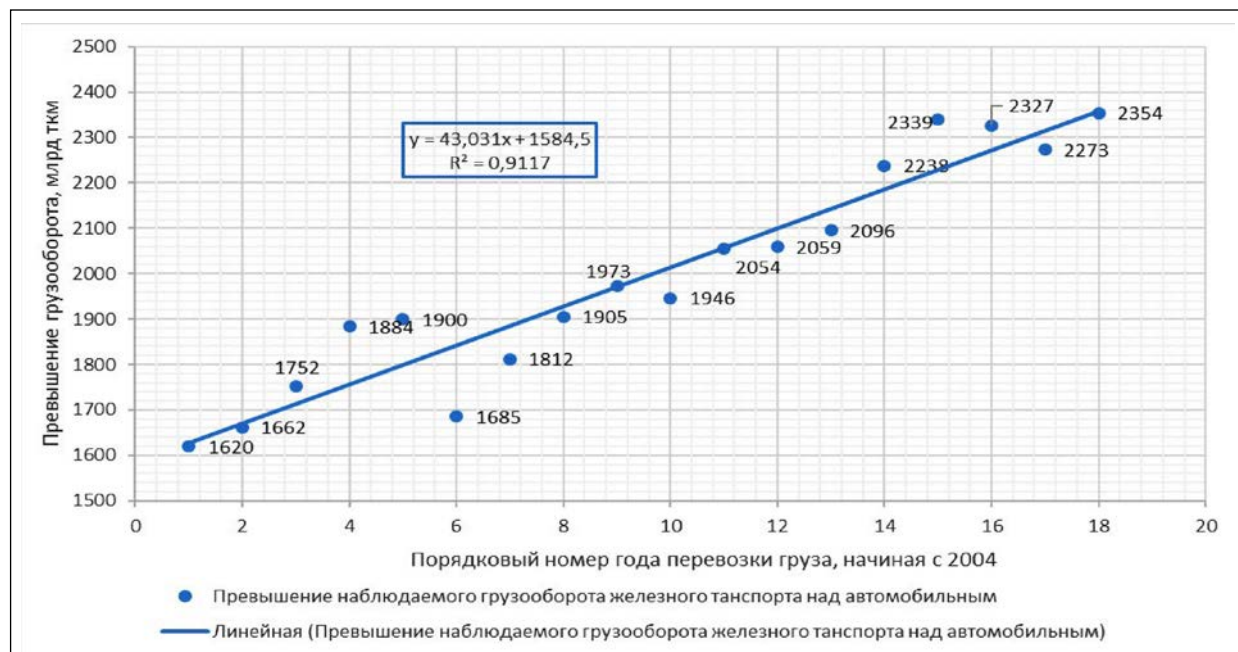


Рис. 1. Линейная модель динамики превышения наблюдаемого грузооборота

На основании опытных и модельных значений превышения грузооборота в табл. 2 приведены вычисленные значения по годам транспортировки грузов, локальные абсолютные и относительные погрешности.

Сравнение показало, что максимальная и средняя величины относительной по-

грешности составляют соответственно 8,56 и 2,1 %. Более детальный анализ погрешностей позволил сделать заключение об удовлетворительных результатах по данному качеству линейной модели и выбрать ее для дальнейших исследований как наиболее простую.

ТАБЛИЦА 2. Основные показатели грузооборота по годам автомобильным и ж/д транспортом

Год доставки груза	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Порядковый номер года	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Реальное значение превышения грузооборота железнодорожного транспорта над автомобильным, млрд т·км	1620	1662	1752	1884	1900	1685	1812	1905	1973
Модельная величина превышения грузооборота железнодорожного транспорта над автомобильным, млрд т·км	1628	1671	1714	1757	1800	1843	1886	1929	1972
Абсолютная погрешность, млрд т·км	8	9	38	127	100	158	74	24	1
Абсолютная погрешность, %	0,46	0,51	2,24	7,25	5,58	8,56	3,91	1,23	0,06
Год доставки груза	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Порядковый номер года	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Реальное значение превышения грузооборота железнодорожного транспорта над автомобильным, млрд т·км	1946	2054	2059	2096	2238	2339	2327	2273	2354
Модельная величина превышения грузооборота железнодорожного транспорта над автомобильным, млрд т·км	2015	2058	2101	2144	2187	2230	2273	2316	2359
Абсолютная погрешность, млрд т·км	69	4	42	48	51	109	54	43	5
Абсолютная погрешность, %	3,41	0,19	1,99	2,23	2,34	4,89	2,38	1,86	0,21

Проведена также оценка качества моделирования с помощью коэффициента детерминации [4]. Его значение, равное 0,9117 (рис. 1), свидетельствует, что связь между значениями превышения грузооборота железнодорожного над автомобильным транспортом и годом перевозки груза, вычисленные по модели, достаточно тесная. Для проверки качества модели использован также инструмент «Регрессия» надстройки

«Пакет анализа» [5]. Его применение позволило установить выборочные коэффициенты корреляции и детерминации, разложения общей суммы квадратов на объясненную и остаточную, а также значения регрессионных параметров и расчетное значение критерия Фишера, величина которого свидетельствует о значимой модели. Основные величины в результате применения «Пакета анализа», представлены в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. Выборочные значения параметров моделирования линейной функцией регрессии

Коэффициенты регрессии		Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	Табличное значение статистики Фишера
43,03	1584,48	0,9548	0,9117	165,27
Суммы квадратов разностей		Общая	Факторная	Остаточная
		983 981,6	897 131	86 850,65
Суммы квадратов разностей на одну степень свободы		Общая	Факторная	Остаточная
		57 881,2	897 131	5428,1

Полученное расчетное значение критерия Фишера существенно превышает табличное. Следовательно, построенная модель является значимой. Построенная модель была также подвергнута верификации путем вычисления погрешностей между превышением наблюдаемого грузооборота в 2022 и 2023 годах, которые не участвовали в построении модели, и значениями модельных превышений в эти годы (табл. 4).

ТАБЛИЦА 4. Абсолютная и относительная погрешности превышения грузооборота в годы, подлежащие верификации

Годы	Наблюдаемое превышение	Модельное превышение	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность, %
2022	2346	2488,13	142,13	6,1
2023	2490	2531,16	41,16	1,7

Из табл. 4 следуют относительно незначительные величины абсолютных и относительных погрешностей, что подтверждает хорошее качество модели в виде линейной функции регрессии, построенной по наблюдаемым статистическим данным.

Качество построенной модели (функции регрессии) позволило использовать ее для прогнозных расчетов, а именно установить величины превышения грузооборота железнодорожного транспорта над автомобильным в 2024

и 2025 годах. Для этого в дальнейшем через  $T^*$  принято обозначение за прогнозируемый год перевозки груза, а через  $\hat{Y}(T^*)$  — ожидаемое значение превышения грузооборота железнодорожного транспорта над автомобильным. Тогда прогнозное значение превышения грузооборота железнодорожного над автомобильным транспортом можно вычислить по построенной функции регрессии. На числовой оси это значение моделируется в виде точки, а поэтому часто такой прогноз называют точечным.

На практике при многократном проведении одной и той же доставки груза расчетная величина достигается с некоторым разбросом, то есть является случайной величиной. Это позволяет при оценках грузооборота считать точечный прогноз средним значением, для которого в расчетах определена дисперсия. Именно она позволила ввести интервальную прогнозную оценку. В работе точечный расчет превышения грузооборота железнодорожного транспорта над автомобильным  $\hat{Y}(T^*)$  дополнен выражением интервальной оценки прогнозируемого значения следующего вида:

$$YL = \hat{Y}(T^*) - m_{Y(T^*)} \leq Y^* \leq \hat{Y}(T^*) + m_{Y(T^*)} = YP$$

В приведенном интервальном прогнозном условии величина  $m_{Y(T^*)}$  выступает смещением относительно точечного прогнозного значения [4]. Она формирует

нижнюю  $YL$  и верхнюю  $YP$  границы доверительного интервала.

Результаты расчета точечного (среднего) значения и границ доверительного интервала превышения грузооборота железнодорожного транспорта над автомобильным в млрд т·км для прогнозных годов приведены в табл. 5 и представлены на рис. 2.

На рис. 2 представлены подмножество наблюдаемых значений и часть линейной модели из рис. 1; вычисленные по модели значения превышения грузооборота, предназначенные для верификации; значения точечного прогноза; значения верхней и нижней границ доверительного интервала интервального прогноза.

ТАБЛИЦА 5. Значения превышения грузооборота по точечному и интервальному прогнозу на 2022 и 2025 годы, млрд т·км

Показатель	Год/порядковый номер года			
	2022/19	2023/20	2024/21	2025/22
Точечный прогноз	2402	2445	2488	2531
Доверительный интервал	301	306	311	317
Нижняя граница доверительного интервала $YL = \hat{Y}(T^*) - m_{Y(T^*)}$	2252	2292	2332	2373
Верхняя граница доверительного интервала $YP = \hat{Y}(T^*) + m_{Y(T^*)}$	2553	2598	2644	2690

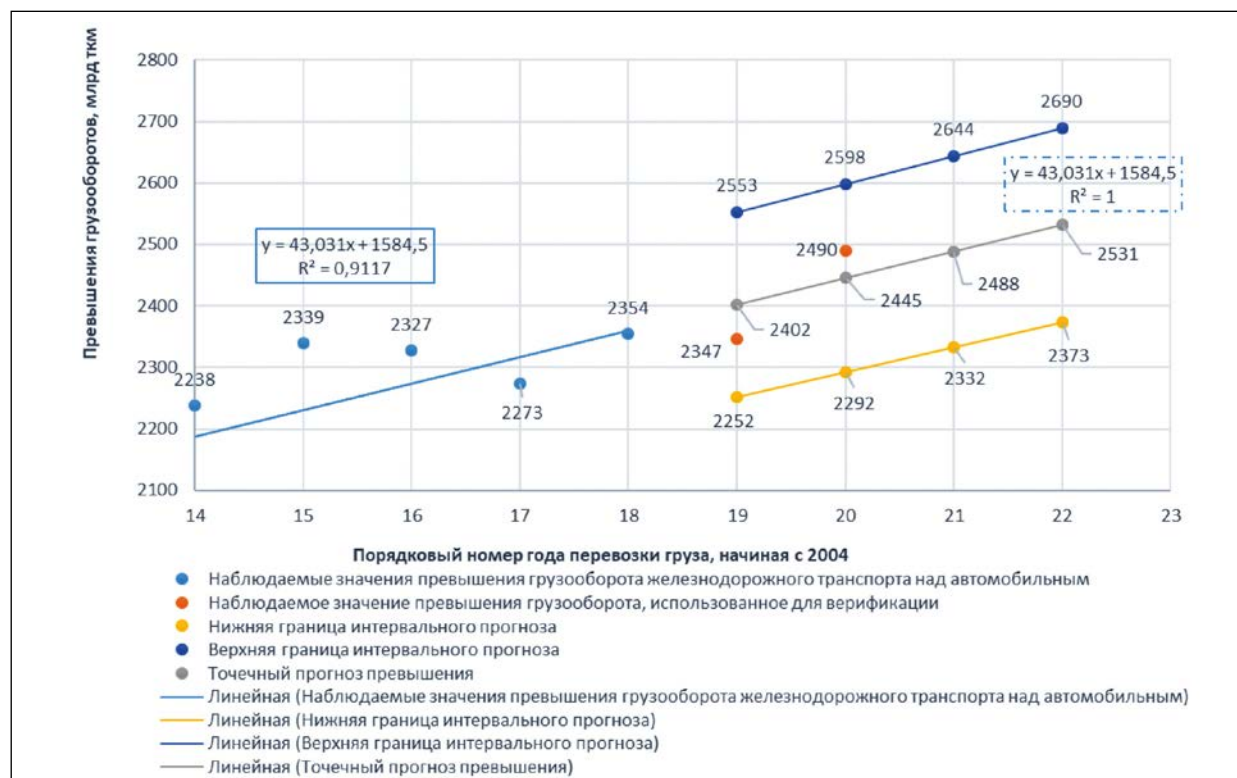


Рис. 2. Графики и значения точечного и интервального прогнозов

Таким образом, представленные результаты проведенного исследования позволяют проводить планирование отношения грузооборотов. По положению показателя планового значения грузооборота внутри доверительного интервала интервального прогноза позволяет определить критическую область и вероятность недостижения плана, то есть показатель риска его выполнения [5].

### Библиографический список

1. Табах А. В., Подругина А. В. Транспорт и логистика: переориентация направлений и изменения в структуре // *Промышленность*, 2023.
2. Кударов Р. С., Герасименко П. В. Мониторинг пассажиропотоков, формирующих входной пассажиропоток на станции «Пушкинская» в часы пик // Сборник: Шаг в будущее. Неделя науки – 2006: материалы научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / под ред. В. В. Сапожникова. 2006. С. 189–191.
3. Тузов К. А., Сабельников И. Е. Грузовые перевозки в России: обзор текущей статистики // *Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики*. № 53 [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (дата обращения: 25.06.2023).
4. Герасименко П. В. Метод моделирования риска при повышении стоимости услуг // *Известия Международной академии наук высшей школы*. 2011. № 2 (56). С. 64–70.
5. Герасименко П. В. Оценка показателей управленческого риска при прогнозировании результатов производственной деятельности предприятия // *Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление*. 2012. № 3 (42). С. 134–141.

Дата поступления: 07.05.2024

Решение о публикации: 28.05.2024

### Контактная информация:

ГЕРАСИМЕНКО Петр Васильевич — доктор техн. наук, профессор; [pv39@mail.ru](mailto:pv39@mail.ru)

## Comparison of annual railway freight turnover and automobile transport of the Russian Federation: modeling, verification, point and interval forecast

**P. V. Gerasimenko**

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

**For citation:** Gerasimenko P. V. Comparison of annual railway freight turnover and automobile transport of the Russian Federation: modeling, verification, point and interval forecast // *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2024. Vol. 21, iss. 2. P 517–524. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2024-02-517-524

### Abstract

**Purpose:** a study was conducted comparing the freight turnover of rail and road transport in the Russian Federation over the last twenty years and a forecast assessment was made. The comparative assessment was carried out due to the excess of freight turnover by rail over road transport. The study includes the following main stages: modeling based on the observed annual values of cargo turnover; model verification by comparing model and experimental values in years not involved in the construction of the model; model point and interval forecasting; analysis of the forecast trend of changes. The mathematical model

of the excess of freight turnover by rail over road transport from the year of cargo delivery is based on a sample of statistical data from Rosstat from 2004 to 2021. The model was verified based on the results of cargo turnover in 2022 and 2023. **Methods:** to build a mathematical model, test it and carry out forecasting, a number of theoretical provisions of econometrics were used, including dynamic series, regression analysis, the least squares method, point and interval forecasting. The applied calculation apparatus was used using the Excel PPP. **Results:** the quality of the constructed model was evaluated by the following indicators: approximation errors, correlation and determination coefficients, and the Fisher criterion. A comparison of the observed and model values of excess cargo turnover showed that in the period from 2004 to 2021, according to the above indicators, they have minor deviations. The verification performed confirmed the satisfactory simulation. **Practical significance:** the conducted research has shown that it is possible to predict the results of transport operations according to the described algorithm and it is justified to make management decisions at the beginning of their implementation. **Recommendations:** to continue improving the modeling and forecasting apparatus, taking into account the assessment of risk indicators.

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

## References

1. Tabah A. V., Podrugina A. V. Transport i logistika: pereorientatsiya napravlenij i izmeneniya v strukture // Promyshlennost', 2023. (In Russian)
2. Kudarov R. S., Gerasimenko P. V. Monitoring passazhiropotokov, formiruyushchih vhodnoj passazhiropotok na stantsii "Pushkinskaya" v chasy pik // Sbornik: Shag v budushchee. Nedelya nauki – 2006: materialy nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh / pod red. V. V. Sapozhnikova. 2006. S. 189–191. (In Russian)
3. Tuzov K. A., Sabel'nikov I. E. Gruzovye перевозки в России: обзор текущей статистики // Byulleten' o tekushchih tendentsiyah rossijskoj ekonomiki. № 53 [Elektronnyj resurs]. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (data obrashcheniya: 25.06.2023). (In Russian)
4. Gerasimenko P. V. Metod modelirovaniya riska pri povyshenii stoimosti uslug // Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii nauk vysshej shkoly. 2011. № 2 (56). S. 64–70. (In Russian)
5. Gerasimenko P. V. Ocenka pokazatelej upravlencheskogo riska pri prognozirovanii rezul'tatov proizvodstvennoj deyatel'nosti predpriyatiya // Vestnik Pridnestrovskogo universiteta. Seriya: Fiziko-matematicheskie i tekhnicheskije nauki. Ekonomika i upravlenie. 2012. № 3 (42). S. 134–141. (In Russian)

Received: 07.05.2024

Accepted: 28.05.2024

### Author's information:

Petr V. GERASIMENKO — D. Sci. in Engineering, Professor; pv39@mail.ru