

Г. Д. Гефан¹, З. А. Барикян¹, Е. А. Гудков¹

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЕЗОННОГО ХОДА ПАССАЖИРООБОРОТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО И АВИАТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. В статье применительно к моделированию сезонных колебаний пассажирооборота железнодорожного и воздушного транспорта общего пользования рассматриваются 3 метода: фиктивных переменных, скользящей средней и гармонического анализа. Для построения моделей использованы месячные данные 2016-2019 гг. Все методы дают хорошую точность аппроксимации, в особенности – для ж/д транспорта. Спрогнозирован пассажирооборот на февраль 2020 года. Прогноз пассажирооборота оказался значительно более точным для ж/д транспорта, чем для транспорта воздушного.

Ключевые слова: Гармонический анализ, метод скользящей средней, метод фиктивных переменных, эконометрическая регрессионная модель, воздушный транспорт, железнодорожный транспорт, пассажирооборот, прогнозирование.

G. D. Gefan¹, Z. A. Barikyan¹, E. A. Gudkov¹

¹ Irkutsk State Railway University, Irkutsk, Russian Federation

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SEASONAL COURSE OF THE PASSENGER-TURNOVER OF RAILWAY AND AIRLINE TRANSPORT ON THE BASIS OF ECONOMETRIC SIMULATION

Abstract. In the article, as applied to the modeling of seasonal fluctuations in the passenger turnover of railway and air transport, three methods are considered: dummy variables, moving average and harmonic analysis. To build the models used monthly data 2016-2019. All methods give good approximation accuracy, especially for railway transport. The passenger turnover is forecasted for February 2020. The passenger turnover forecast turned out to be significantly more accurate for railway transport than for air transport.

Keywords: Harmonic analysis, moving average method, dummy variable method, econometric regression model, air transport, railway transport, passenger turnover, forecasting.

Введение

Моделирование динамики явлений по данным временных рядов – весьма сложная проблема, решаемая, в частности, с помощью регрессионного анализа. При этом возникают дополнительные сложности, связанные с необходимостью учёта циклической составляющей, автокорреляции и авторегрессии [1-3]

Сезонная цикличность является типичным видом периодических колебаний во временной зависимости пассажирооборота дальних пассажирских перевозок. Её причиной, в основном, является рост пассажирских перевозок в тёплые сезоны в связи с массовыми отпусками.

Актуальность проблемы моделирования и прогнозирования сезонного хода пассажирооборота объясняется тем, что удовлетворение возрастающих потребностей в период сезонного максимума пассажирооборота должно производиться за счет назначения дополнительных транспортных средств и маршрутов. В настоящее время немалое количество отечественных и зарубежных научных работ посвящено подобным проблемам [4-10].

В работе [11] была решена задача построения модели временной (сезонной) зависимости пассажирооборота в Российской Федерации по данным за 2016 и 2017 годы. Были рассмотрены два подхода: гармонический анализ (ряды Фурье) и регрессионный анализ (модель с фиктивными сезонными переменными). В настоящей работе мы, во-первых, расширили область данных для построения моделей (теперь это 2016-2019 годы, 48 месяцев); во-вторых, использовали ещё один метод моделирования динамики – метод скользящей средней; в-третьих, проанализировали сходство и различия временного хода двух главных видов транспорта – железнодорожного и воздушного.

Метод фиктивных переменных

Фиктивные переменные (ФП) в моделях регрессии принимают только два значения: единица или нуль (единица для конкретной части выборочных значений и нуль для всех остальных). Чаще всего это используется, когда необходимо учесть некоторые качественные факторы. Однако этот же метод можно с успехом использовать для моделирования циклической составляющей временной зависимости. При этом количество дополнительных (фиктивных) переменных зависит от того, сколько моментов времени приходится на длину одного периода (цикла) колебаний.

Прежде всего, для анализа временного ряда необходимо проверить его на наличие циклической составляющей. Для этого используют автокорреляционную функцию (АКФ), представляющую собой последовательность коэффициентов автокорреляции, которые находятся по формулам [12]:

$$r_l = \frac{\overline{y_t y_{t-l}} - \overline{y_t} \overline{y_{t-l}}}{\sigma_t \sigma_{t-l}}, \quad l = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где

$$\overline{y_t} = \frac{1}{n-l} \sum_{t=l+1}^n y_t, \quad \overline{y_{t-l}} = \frac{1}{n-l} \sum_{t=l+1}^n y_{t-l}, \quad \overline{y_t y_{t-l}} = \frac{1}{n-l} \sum_{t=l+1}^n y_t y_{t-l},$$

$$\sigma_t^2 = \overline{y_t^2} - (\overline{y_t})^2, \quad \sigma_{t-l}^2 = \overline{y_{t-l}^2} - (\overline{y_{t-l}})^2.$$

Величина l называется лагом.

Если наибольшим оказывается коэффициент с лагом $l = 1$, то имеется линейная тенденция. Если наибольшим оказывается коэффициент с лагом k , то в модели присутствует циклическая составляющая с периодом k . АКФ временного ряда для пассажирооборота ЖД транспорта и воздушного транспорта представлена в табл. 1. Сами вычисления произведены на основе месячных данных федеральной статистики за 2016-2019 годы [13].

Табл. 1. Автокорреляционная функция временного ряда

Лаг, k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
АФК ЖД	0,735	0,247	-0,186	-0,449	-0,560	-0,601	-0,510	-0,367	-0,112	0,277	0,737	0,992	0,722	0,229
АФК Возд.	0,882	0,620	0,302	0,015	-0,170	-0,231	-0,168	0,018	0,301	0,604	0,865	0,986	0,836	0,503

Результаты показывают, что наибольший коэффициент имеет место при $k = 12$, следовательно, наблюдается циклическая составляющая с периодом 12 месяцев.

Для моделирования тренда введем переменную времени t , которая принимает значения 1, 2, ..., 48 (номер месяца, начиная с января 2016 года), а для моделирования сезонных (месячных) колебаний введем следующие фиктивные переменные:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i - \text{ый месяц} \\ 0, & \text{если не } i - \text{ый месяц} \end{cases} \quad (2)$$

Воспользуемся методами регрессионного анализа и получим следующие результаты.

Линейная модель регрессии с 12 объясняющими переменными $t, x_1, x_2, \dots, x_{11}$ для пассажирооборота железнодорожного транспорта оценивается уравнением:

$$\overline{y_{t,x_1,\dots,x_{11}}} = 8,229 + 0,023t + 0,149x_1 - 1,793x_2 - 0,596x_3 - 0,189x_4 + 1,185x_5 + 4,214x_6 + 7,816x_7 + 7,988x_8 + 2,695x_9 + 0,744x_{10} - 0,052x_{11} \quad (3)$$

Коэффициент детерминации: $R^2 = 0,994$.

Линейная модель регрессии для пассажирооборота воздушного транспорта имеет вид:

$$\overline{y_{t,x_1,\dots,x_{11}}} = 13,005 + 0,240t + 0,239x_1 - 1,604x_2 + 0,734x_3 + 0,891x_4 + 3,126x_5 + 7,339x_6 + 10,899x_7 + 11,084x_8 + 7,845x_9 + 3,605x_{10} + 0,187x_{11} \quad (4)$$

Коэффициент детерминации: $R^2 = 0,988$

В этом методе коэффициент при t показывает прирост пассажирооборота за 1 месяц без учета сезонной компоненты, а коэффициент при x - насколько в среднем отличается пассажирооборот в конкретный месяц от пассажирооборота в декабре. Из коэффициента при t можно установить, что пассажирооборот воздушного транспорта в среднем растет в 10 раз быстрее, чем пассажирооборот ЖД.

Оценка качества всех методов будет дана в последнем пункте.

Метод скользящей средней

В основе этого подхода лежит вычисление средних величин за укрупненные временные периоды. Целью является избавление от влияния случайных факторов в отдельные интервалы времени [14].

Исходные уровни ряда заменяются теоретическими уровнями так, что случайные колебания сглаживаются, а основная тенденция развития проявляется в виде некоторой плавной линии. За основу сглаживания берётся звено из постоянного числа уровней, смещаемое на каждом шаге от начала к концу ряда. При наличии цикличности, это число выбирается так, чтобы оно соответствовало длительности наблюдаемого цикла. Для нашего случая это звено состоит из 12 уровней.

В итоге получаем линию тренда и сезонную компоненту (СК), результаты представлены в табл. 2.

Табл. 2. Линейный тренд и сезонные компоненты

Номер месяца	Линия тренда	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
СК для ЖД	$y(t) = 0,022t + 10,082$	-1,855	-3,746	-2,516	-2,032	-0,853	2,231	5,875	6,073	0,790	-1,160	1,941	-1,898
СК для возд.	$y(t) = 0,239t + 16,714$	-3,283	-5,545	-2,830	-2,640	-0,635	3,615	7,081	7,132	4,046	-0,248	-3,302	-3,391

В отличие от метода ФП, здесь отклонения сезонной компоненты происходят не от значения пассажирооборота в декабре, а от некоего среднего значения.

Коэффициент при t в линии тренда подтверждает вывод, полученный методом ФП, о том, воздушный пассажирооборот растет в 10 раз быстрее, чем ЖД пассажирооборот.

На рис. 1 показана иллюстрация метода.

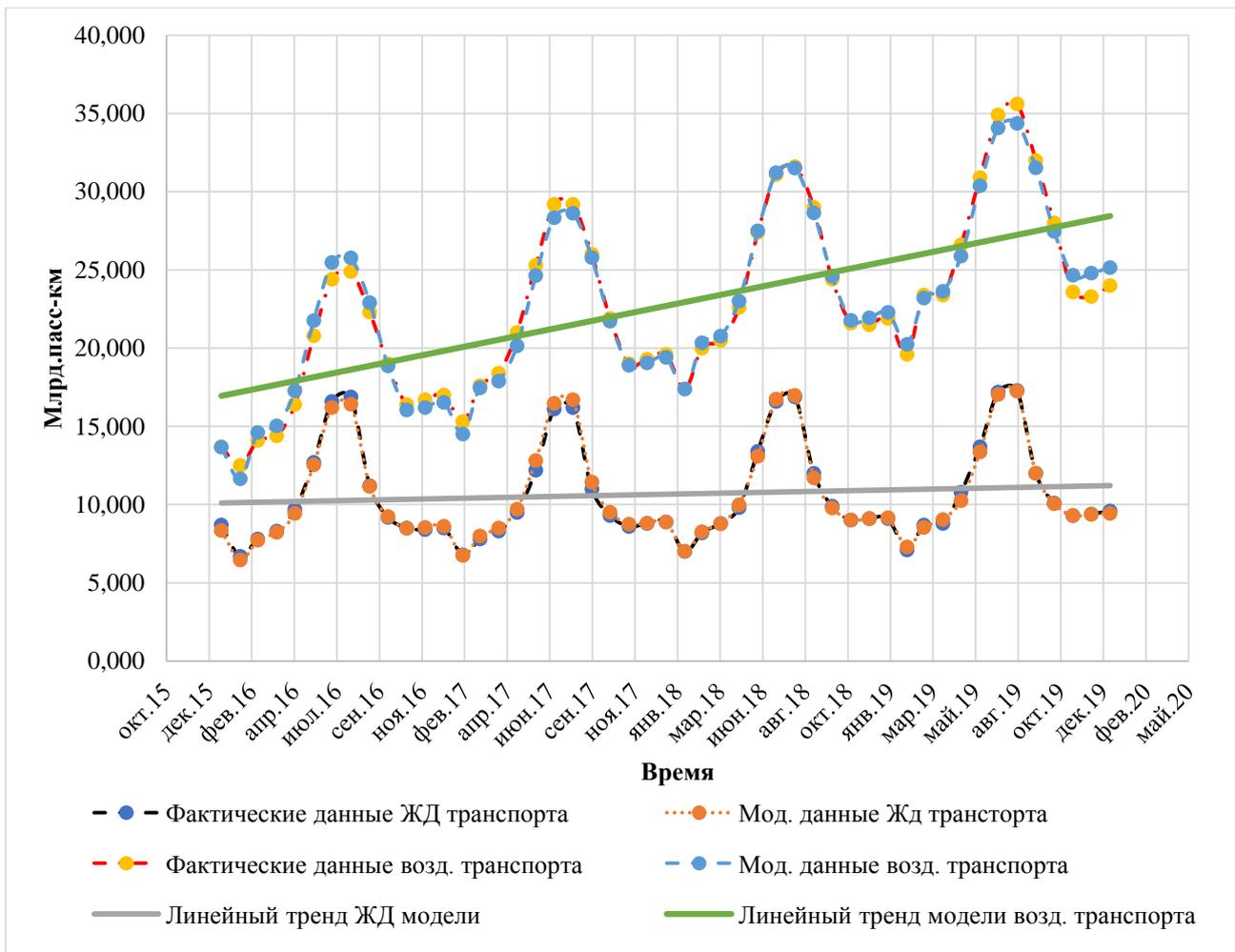


Рис. 1. Результаты использования метода скользящей средней

Гармонический анализ

Пусть произведено некоторое число наблюдений n величины Y (значения y_t , $t = \overline{1, n}$), охватывающих n/m количество циклов, то есть на каждый цикл будет приходиться по m наблюдений. В таком случае поведение Y во времени аппроксимируется рядом [15]

$$Y(t) = f(t) + \sum_k \left(\alpha_k \cos \frac{2\pi kt}{m} + \beta_k \sin \frac{2\pi kt}{m} \right), \quad (5)$$

где функция $f(t)$ – это основная тенденция развития (при отсутствии тенденции – просто среднее значение),

$$\alpha_k = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - f(t)) \cos \frac{2\pi kt}{m}, \quad \beta_k = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - f(t)) \sin \frac{2\pi kt}{m} - \quad (6)$$

– коэффициенты гармоник с номером k .

Основная тенденция имеет вид: $f(t) = 0,232t + 16,664$ для модели пассажирооборота воздушного транспорта и $f(t) = 0,024t + 9,886$ для модели пассажирооборота железнодорожного транспорта.

Точность разложения в ряд зависит от числа удерживаемых членов (гармоник). В качестве критерия используем среднюю ошибку аппроксимации (E), которая показывает среднее отклонение расчетных значений от фактических:

$$E = (1/n) \sum_{i=1}^n |(y_i - Y(t)) / y_i| \times 100 \% \quad (7)$$

Для пяти удерживаемых гармоник результат следующий: средняя ошибка аппроксимации модели пассажиропотока ЖД транспорта $E = 2,763$ процента, для модели пассажиропотока воздушного транспорта $E = 3,471$ процента.

Выводы и заключение

На рис. 2 и 3, для наглядности, изображены все применённые подходы в совокупности.

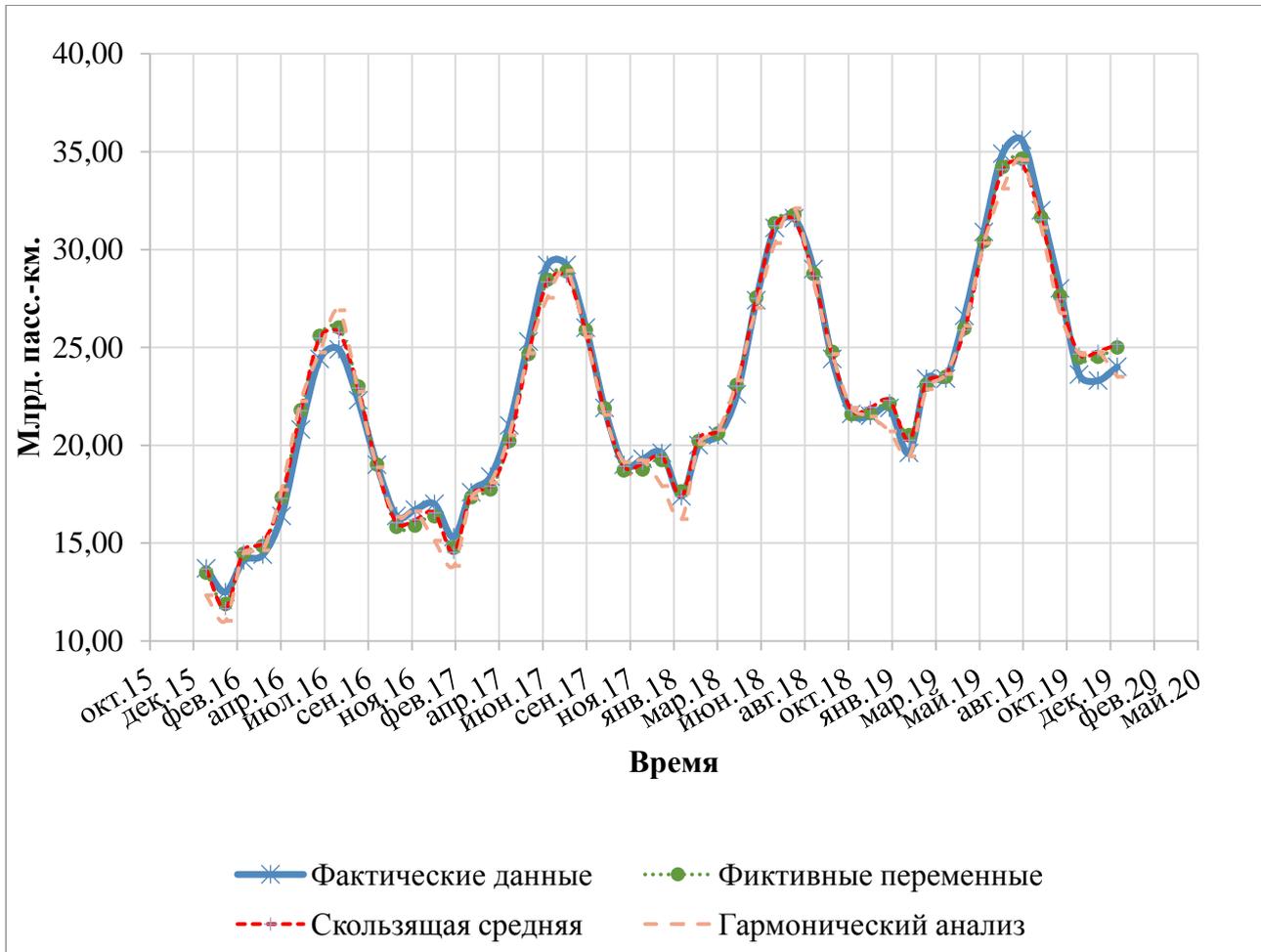


Рис. 2. Моделирование пассажирооборота воздушного транспорта

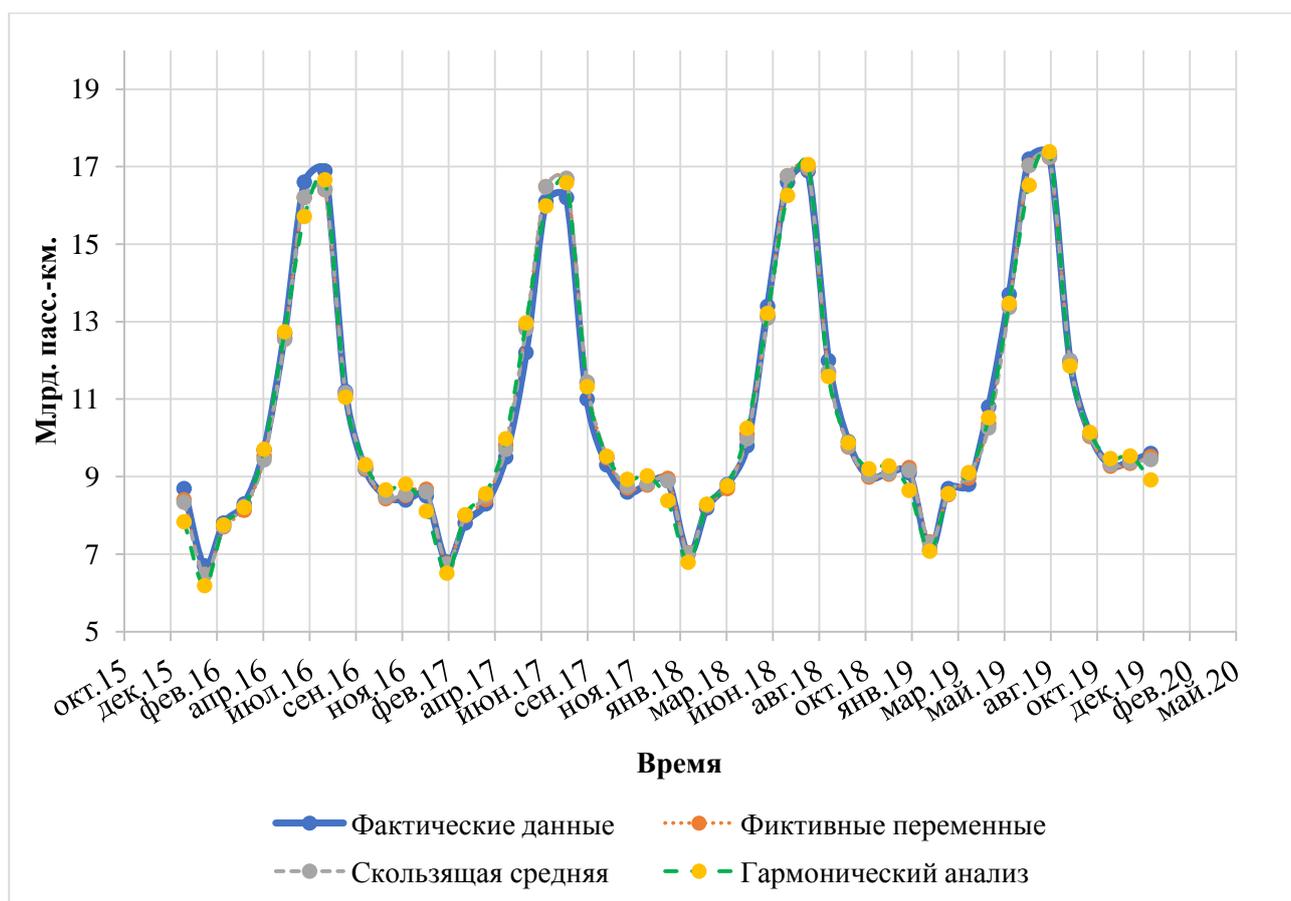


Рис. 3. Моделирование пассажирооборота ЖД транспорта

Каждым методом был произведен прогноз на февраль 2020 года, данные можно наблюдать в табл. 3.

Табл. 3. Фактические данные и прогноз пассажирооборота на февраль 2020 года

	Метод фиктивных переменных		Метод скользящей средней		Метод гармонического анализа	
	ЖД	Воздушный	ЖД	Воздушный	ЖД	Воздушный
Прогноз	7,596	23,393	7,571	23,126	7,337	22,65
Фактические данные	7,500	21,100	7,500	21,100	7,500	21,100

Также высчитана ошибка прогноза и средняя ошибка аппроксимации для обоих видов транспорта.

Данные о качестве всех моделей приведены в табл. 4. Наилучшим методом моделирования ЖД пассажирооборота является метод скользящей средней. Он показал наименьшую среднюю ошибку аппроксимации и ошибку прогноза.

Табл. 4. Итоговые значения приведенных подходов

	Метод фиктивных переменных		Метод скользящей средней		Метод гармонического анализа	
	ЖД	Воздушный	ЖД	Воздушный	ЖД	Воздушный
Е, %	1,64	2,32	1,62	2,35	2,76	3,47
Ошибка прогноза, %	1,27	10,86	0,94	9,6	2,17	7,34

Для воздушного транспорта дела обстоят иначе. Подход, который показал наименьшую ошибку аппроксимации - это метод фиктивных переменных, а наименьшую ошибку предсказания показал - метод гармонического анализа.

Большую ошибку предсказания моделей воздушного пассажирооборота можно объяснить наличием большого количества случайных факторов (цены на авиаперелеты менее стабильны, чем на ЖД, влияние геополитической ситуации и т.д.).

Таким образом, была выявлена цикличность пассажирооборота, и благодаря математическим подходам, рассматриваемых в статье, удалось предсказать с приемлемой точностью на конкретный временной отрезок пассажирооборот на ЖД и воздушном транспорте. Если есть возможность применять сразу несколько подходов, то можно произвести весьма точный

прогноз на конкретный момент времени. Благодаря подобному прогнозированию авиакомпания и железная дорога способна заранее оценить количество необходимых издержек и принимать во внимание вероятную загруженность пассажирами воздушных судов и пассажирских вагонов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Базилевский М.П., Гефан Г.Д. Проблема автокорреляции остатков регрессии на примере моделирования грузооборота железнодорожного транспорта по данным временных рядов / М.П. Базилевский, // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2016. — № 1 (49). — С. 141-147.
2. Базилевский М.П., Г.Д. Гефан. Об учёте эффектов автокорреляции во временных рядах // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. — Иркутск : ИрГУПС, 2015. — Вып. 14. — С. 11-22.
3. Гефан Г.Д., Иванов В.Б. Модели временных рядов в задачах прогнозирования солнечной активности для потребителей систем навигации GPS/ГЛОНАСС // Трансп. инфраструктура Сибирского региона: материалы межвуз. научно-практ. конференции. — Иркутск : Изд-во ИрГУПС, 2011. — С. 304-309.
4. Grafeeva N. et al. Passenger traffic analysis based on St. Petersburg public transport //International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management. — 2017. — Т. 17. — С. 509-516.
5. Shcherbanin Y. A. The use of regression models to forecast passenger air travel indices //Studies on Russian Economic Development. — 2016. — Т. 27. — №. 3. — С. 269-275.
6. Aivazidou E., Politis I. Transfer function models for forecasting maritime passenger traffic in Greece under an economic crisis environment //Transportation Letters. — 2020. — С. 1-17.
7. Kang X., Liu F. Analysis and Forecast for the National Railway Passenger Turnover Volume Based on Time Series Method //Mathematics in Practice and Theory. — 2015. — Т. 2015. — №. 20. — С. 19.
8. Tang X., Deng G. Prediction of Civil Aviation Passenger Transportation Based on ARIMA Model //Open Journal of Statistics. — 2016. — Т. 6. — №. 5. — С. 824-834.
9. Wei Y., Li X. Forecast of Railway Passenger Transport Turnover Based on GM (1, 1) Model //2019 International Conference on Economic Management and Model Engineering (ICEMME). — IEEE, 2019. — С. 347-350.
10. Zhang D., Liu Z. Forecast and Model Establishment of Urban Rail—Transit Passenger Flow //Data Processing Techniques and Applications for Cyber-Physical Systems (DPTA 2019). — Springer, Singapore, 2020. — С. 969-977.
11. Gefan G.D. Modeling the seasonal course of passenger turnover according to statistical data of time series / G.D. Gefan // Proceedings of The Sixth International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway, ISMR 2018, September 25-28, 2018, Irkutsk, Russia / Edited by Lei Xiaoyan and S. Kasrgapoltsev. — Beijing : China Railway Publishing House, 2018. — P. 634-636
12. Елисеева, И.И. Эконометрика. — М.: Финансы и статистика, 2007. — 576 с.
13. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.gks.ru/folder/23455>
14. Невская, Н. А. Макроэкономическое планирование и прогнозирование : учебник и практикум для академического бакалавриата / Н. А. Невская. — Москва : Издательство Юрайт, 2017. — 186 с.
15. Статистика: курс лекций / под ред. В.Г. Ионина. — М. : ИНФРА-М, 1997. — 310 с.

REFERENCES

1. Bazilevskiy M.P., Gefan G.D. Problema avtokorrelyatsii ostatkov regressii na primere modelirovaniya zheleznodorozhnykh gruzopotokov po dannym vremennykh ryadov / M.P. Bazilevskiy [Bazilevsky M.P., Gefan G.D. The problem of autocorrelation of regression residues by the example of modeling rail freight traffic according to time series data / M.P. Bazilevsky], // Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovaniye [Modern technologies. System analysis. Modeling]. — 2016. — № 1 (49). — P. 141-147.
2. Bazilevskiy M.P., G.D. Gefan. Ob uchote effektov avtokorrelyatsii vo vremennykh ryadakh [Bazilevsky M.P., G.D. Hefhan. About taking into account the effects of autocorrelation in time series] // Informatsionnyye tekhnologii i problemy matematicheskogo modelirovaniya slozhnykh sistem [Information

technology and problems of mathematical modeling of complex systems]. — Irkutsk: IrGUPS, 2015. - Issue. 14. - P. 11-22.

3. Gefan G.D., Ivanov V.B. Modeli vremennykh ryadov v zadachakh prognozirovaniya solnechnoy aktivnosti dlya potrebiteley sistem navigatsii GPS/GLONASS [Gefan G.D., Ivanov V.B. Time Series Models for Solar Activity Forecasting Problems for Consumers of GPS / GLONASS Navigation Systems] // Transp. infrastruktura Sibirskogo regiona: materialy mezhvuz. nauchno-prakt. Konferentsii [Transp. infrastructure of the Siberian region: materials of universities. scientific and practical. Conferences]. — Irkutsk: Publishing House of IrGUPS, 2011. - P. 304-309.

4. Grafeeva N. et al. Passenger traffic analysis based on St. Petersburg public transport //International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management. – 2017. – T. 17. – C. 509-516.

5. Shcherbanin Y. A. The use of regression models to forecast passenger air travel indices //Studies on Russian Economic Development. – 2016. – T. 27. – №. 3. – C. 269-275.

6. Aivazidou E., Politis I. Transfer function models for forecasting maritime passenger traffic in Greece under an economic crisis environment //Transportation Letters. – 2020. – C. 1-17.

7. Kang X., Liu F. Analysis and Forecast for the National Railway Passenger Turnover Volume Based on Time Series Method //Mathematics in Practice and Theory. – 2015. – T. 2015. – №. 20. – C. 19.

8. Tang X., Deng G. Prediction of Civil Aviation Passenger Transportation Based on ARIMA Model //Open Journal of Statistics. – 2016. – T. 6. – №. 5. – C. 824-834.

9. Wei Y., Li X. Forecast of Railway Passenger Transport Turnover Based on GM (1, 1) Model //2019 International Conference on Economic Management and Model Engineering (ICEMME). – IEEE, 2019. – C. 347-350.

10. Zhang D., Liu Z. Forecast and Model Establishment of Urban Rail—Transit Passenger Flow //Data Processing Techniques and Applications for Cyber-Physical Systems (DPTA 2019). – Springer, Singapore, 2020. – C. 969-977.

11. Gefan G.D. Modeling the seasonal course of passenger turnover according to statistical data of time series / G.D. Gefan // Proceedings of The Sixth International Symposium on Innovation and Sustainability of Modern Railway, ISMR 2018, September 25-28, 2018, Irkutsk, Russia / Edited by Lei Xiaoyan and S. Kasrgapoltsev. – Beijing : China Railway Publishing House, 2018. – P. 634-636

12. Yeliseyeva, I.I. Ekonometrika. - M.: Finansy i statistika [Eliseeva, I.I. Econometrics. - M.: Finance and Statistics], 2007. - 576 p.

13. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Elektronnyy resurs] Rezhim dostupa [Federal State Statistics Service [Electronic resource] Access mode]: <https://www.gks.ru/folder/23455>

14. Nevskaya, N. A. Makroekonomicheskoye planirovaniye i prognozirovaniye: uchebnik i praktikum dlya akademicheskogo bakalavriata [Nevskaya, N. A. Macroeconomic planning and forecasting: a textbook and workshop for academic undergraduate] N. A. Nevskaya. - Moskva: Izdatel'stvo Yurayt [N. A. Nevskaya. - Moscow: Yurayt Publishing House], 2017.- 186 p.

15. Statistika: kurs lektsiy [Statistics: lecture course] pod red. V.G. Ionin. - M.: INFRA-M [ed. V.G. Ionina. - M.: INFRA-M], 1997. - 310 p.

Информация об авторах

Гефан Григорий Давыдович - к. ф.-м. н., доцент кафедры «Математика», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: grigef@rambler.ru

Барикян Завен Арамаисович – студент факультета «Экономика и финансы» второго курса, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: zaven.barikyan@mail.ru

Гудков Евгений Андреевич - студент факультета «Экономика и финансы» второго курса, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: evgenij3000@bk.ru

Authors

Gefan Grigory Davydovich - Ph.D. in Physics and Mathematics Science, Associate Professor, the Subdepartment of Mathematics, Irkutsk State Railway University, Irkutsk, e-mail: grigef@rambler.ru

Barikyan Zaven Aramaisovich - second year student of the Faculty of Economics and Finance, Irkutsk State Railway University, Irkutsk, e-mail: zaven.barikyan@mail.ru

Gudkov Evgeny Andreevich - second year student of the Faculty of Economics and Finance, Irkutsk State Railway University, Irkutsk, e-mail: evgenij3000@bk.ru

Для цитирования

Гефан Г. Д., Барикян З. А., Гудков Е. А. Сравнительный анализ сезонного хода пассажирооборота железнодорожного и авиатранспорта на основе эконометрического моделирования [Электронный ресурс] // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2020. — №3(9). — Режим доступа: <http://mnv.irkups.ru/toma/39-2020>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: 22.05.2020)

For citation

Gefan G. D., Barikyan Z. A., Gudkov E. A. *Sravnitel'nyy analiz sezonnogo khoda passazhira i aviatransporta na osnove ekonometricheskogo modelirovaniya* [Comparative analysis of the seasonal course of the passenger turnover of railway and airline transport on the basis of econometric simulation] *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2020, no. 3(9). [Accessed 22/05/20]