

DOI: 10.15593/24111678/2018.03.02

УДК 629.084

В.А. Бугримов, В.И. Сарбаев, В.В. Бородулин

Московский политехнический университет, Москва, Россия

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ АВТОСЕРВИСА В ЗАПАСНЫХ ЧАСТЯХ

Представлены методические подходы к построению имитационного моделирования потребностей предприятия автосервиса в запасных частях. Рассмотрено содержание алгоритмов построения и реализации имитационных моделей, совокупность необходимых входных и выходных параметров. Приведены важнейшие составляющие модели управления запасами: модели входного потока заявок, стратегии управления запасами, возможные сбои поставок, критерии эффективности функционирования системы управления запасами. Выполнена группировка номенклатуры запасных частей по принципу взаимосвязи при обслуживании и ремонте автомобилей. Определены законы распределения объемов дневного расхода различных деталей для предприятия автосервиса. На основании реализации процедур непараметрического оценивания доказана адекватность аппроксимации распределений объемов расхода деталей за один день экспоненциальным или геометрическим распределением. Выполнен анализ временных рядов потоков заказов на группы деталей. Методами спектрального анализа временных рядов проведена оценка влияния сезонности на расход запасных частей, выявлены колебания недельного и полунедельного цикла. Приведена блок-схема алгоритма имитационного моделирования однопродуктовой системы управления запасами для предприятия автосервиса. Разработана однопродуктовая имитационная модель управления запасами запчастей различной номенклатуры, для которых имеют место специфические случайные временные характеристики объемов заказов для реализации работ по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей. Приведенная имитационная модель позволяет моделировать отдельные выборочные траектории для различных комбинаций параметров, а также различных используемых моделей, в том числе моделей без дефицита и моделей с дефицитом. Формализована зависимость и проведен анализ влияния на критериальную функцию (годовые издержки) контролируемых параметров модели, что является основой для принятия эффективных управленческих решений в области управления запасами предприятия автосервиса.

Ключевые слова: автосервис, запасные части, управление запасами, имитационное моделирование, алгоритмы, законы распределения, группировка, временные ряды, спектральный анализ.

V.A. Bugrimov, V.I. Sarbaev, V.V. Borodulin

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

SIMULATION MODELING OF NEEDS OF A CAR SERVICE COMPANY IN SPARE PARTS

Methodical approaches to simulation modeling of needs of a car service company in spare parts are presented. The content of algorithms for development and implementation of simulation models, and a set of necessary input and output parameters are considered. The most important components of the inventory management model are presented, including: input bid models, inventory management strategies, possible supply failures, and performance criteria for the inventory management system. The grouping of the nomenclature of spare parts by the principle of interrelationship in the maintenance and repair of cars was carried out. The laws of distribution of the daily consumption of various parts for the car service company are determined. Based on the implementation of nonparametric estimation procedures, the adequacy of the approximation of spare parts volume distributions for one day by an exponential or geometric distribution has been proved. The analysis of time series of streams of orders for groups of components is executed. An assessment of the influence of seasonality on the consumption of spare parts was carried out using the methods of spectral analysis of time series; the seasonality of the weekly and half-week cycle was revealed. A block diagram of the simulation modeling algorithm for a single-product inventory management system for a car service enterprise is given. It was developed a simulation model one-product inventory management of spare parts for various items that are place-specific random time characteristics of the volume of orders for carrying out technical maintenance and repair of vehicles. The given simulation model allows modeling individual selective trajectories for various combinations of parameters, as well as various models used, including models without deficiency and models with deficiency. The dependence is formalized and the analysis of the effect on the criterion function (annual costs)

of the controlled parameters of the model is conducted, which is the basis for making effective managerial decisions in the field of car service enterprises' inventory management.

Keywords: car service, spare parts, inventory management, simulation modeling, algorithms, distribution laws, grouping, time series, spectral analysis.

Для предприятий автосервиса управление резервом запасных частей является одной из актуальных управленческих задач с точки зрения эффективности работы предприятия в целом. Нехватка запасных частей ведет к увеличению сроков исполнения заказов, ухудшению репутации автосервиса, потере клиентов, снижению объемов заказов, доходов и прибыли. Чрезмерное увеличение запасов приводит к затовариванию складов, увеличению оборотных средств предприятия и, в конечном итоге, снижению его экономических показателей. Вместе с тем задачи управления запасами, как организационно-управленческие задачи, носят стохастический характер, плохо формализуются. Для решения подобных задач наиболее эффективным инструментом являются методы имитационного моделирования.

Целью имитационного моделирования процессов функционирования системы управления запасами является формирование последовательности событий в моменты времени $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_N$, для каждого из которых задается преобразование состояния модели $Y_i \rightarrow Y_{i+1}$, $i=1, 2, \dots, N-1$, где $Y_i = (y_1^i, y_2^i, \dots, y_n^i)$ – вектор состояния модели. В модели должны учитываться состояние внешней среды $X_i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_m^i)$ и вектор управления $U_i = (u_1^i, u_2^i, \dots, u_l^i)$. При реализации имитационного эксперимента необходимо также учитывать значения неконтролируемых латентных параметров объекта моделирования $E_i = (e_1^i, e_2^i, \dots, e_q^i)$. Таким образом, состояние моделируемой системы управления запасами устанавливается заданием оператора F , который определяет преобразование в рекуррентной форме [1–3]:

$$Y_{i+1} = F^*(Y_i, X_{i+1}, U_{i+1}, E_{i+1}), \quad i=1, 2, \dots, N-1. \quad (1)$$

Алгоритмы построения модели и проведения экспериментов включают в себя датчики случайных чисел, модель управляемого объекта, модели входного потока заказов, характеристики распределения поставок заказов от различных поставщиков, непосредственно стратегию управления запасами запчастей, узлов и агрегатов и другие компоненты [4–6].

В рамках задач экспериментирования имитационная модель может быть представлена в виде черного ящика с множеством входов и выходов.

Вся совокупность параметров может быть разбита:

- на входные неконтролируемые – $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_k)$;
- входные контролируемые неуправляемые – $U = (U_1, U_2, \dots, U_k)$;
- входные контролируемые управляемые – $V = (V_1, V_2, \dots, V_k)$;
- выходные – $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_k)$ [7–9].

Важнейшими составляющими имитационной модели системы управления запасами предприятия автосервиса являются следующие формальные модели и соответствующие алгоритмы:

1) модель входного потока заявок на определенную номенклатуру запчастей с указанием всех необходимых характеристик случайного процесса (контролируемые неуправляемые параметры) [10–12];

2) стратегии управления запасами, которые характеризуются множеством показателей [13–16], связанных с используемыми специфическими методами принятия решений (контролируемые управляемые параметры);

3) сбои поставок, которые выражаются в неопределенности показателей доставки соответствующей номенклатуры запчастей, изменение уровня цен на запасные части и другие неконтролируемые показатели;

4) критерии и показатели эффективности деятельности автосервисного предприятия в целом и системы управления запасами в частности, которые представляют совокупность выходных показателей [11, 17, 18].

В качестве полигона проведения исследований выбран филиал «Алтуфьево» официального дилера ООО «Рольф», располагающийся в г. Москве.

Общее число постов на станции – 33, из них 22 – посты ТО и ремонта. Общая пропускная способность станции – около 100 ед. в сутки на ТО-ТР и 20 ед. в сутки на кузовной ремонт. При этом имеют место сезонные колебания числа заездов, аналогичные колебаниям в расходе запасных частей в автосервисной службе.

Обслуживаются автомобили марки Mitsubishi, основные модели Outlander, Pajero, а также марки Hyundai, основные модели Solaris, Santa Fe, Creta.

Для удобства статистического анализа расхода запасных частей вся номенклатура разделена на группы по принципу взаимосвязи при обслуживании или ремонте автомобиля. В основе гипотезы связанности деталей при заказе лежит предположение о взаимосвязанности деталей при текущем ремонте автомобиля, т.е. замена одних деталей влечет за собой одновременную замену и других.

Распределение выбранной номенклатуры деталей на группы приведено в таблице. Детали, взаимосвязанные при ТО – **группа I**: 3 (масляный фильтр), 4 (салонный фильтр), 5 (воздушный фильтр двигателя), 7 (свеча зажигания). Детали кузовного ремонта – **группа II**: 47 (крепление бампера), 49 (усилитель бампера), 50 (подкрылки), 7 (клипса крепления бампера). Предупредительный ремонт – **группа III**: 78 (гидронатяжитель ремня ГРМ), 39 (ремень ГРМ), 87 (натяжной ролик ремня ГРМ), 110 (натяжитель ремня ГРМ).

Объемы заказов для центра «Рольф»

№ п/п	Позиция на складе	Название в БД	Количество, за год	Гр	Деталь
1	3	OIL FILTER	222 114	I	масляный фильтр
2	4	AIR REFRESHER ASSY	149 496	I	салонный фильтр
3	5	ELEMENT,AIR CLEANER	100 251	I	воздушный фильтр
4	7	SPARK PLUG	47 928	I	свеча зажигания
5	27	CLIP,RR BUMPER	11 208	II	клипса крепления бампера
6	47	FACE KIT,FR BUMPER	7358	II	крепление бампера
7	49	REINFORCEMENT,FR BUMPER	7258	II	усилитель бампера
8	50	MUDGUARD SET, FRONT	7218	II	подкрылки
9	39	BELT,VALVE TIMING	8560	III	ремень ГРМ
10	78	ADJUSTER,TIMING BELT T	4455	III	гидронатяжитель ремня
11	87	PULLEY,TIMING BELT IDL	3723	III	натяжной ролик ремня ГРМ
12	110	TENSIONER,TIMING BELT	3032	III	натяжитель ремня ГРМ

Интерпретация полученных результатов исследования далее сопровождается примерами статистического анализа перечисленного списка деталей с их первоначальным разбиением на соответствующие группы.

На основании реализации процедур непараметрического оценивания доказана адекватность аппроксимации распределений объема расхода деталей за один день экспоненциальным или геометрическим распределением (рис. 1).

Оценки распределений расходов запасных частей позволяют перейти к построению моделей случайных процессов потоков заявок на запасные части, которые являются основой построения системы управления запасами предприятия автосервиса [19]. С помощью полученных зависимостей можно перейти к определению времени между двумя запросами запасных частей

как элемента системы массового обслуживания. Исследования с помощью имитационного моделирования позволят проверить, как ведет себя система при различных состояниях, таких как дефицит деталей на складе, или определить вероятность образования сверхнормативных запасов.

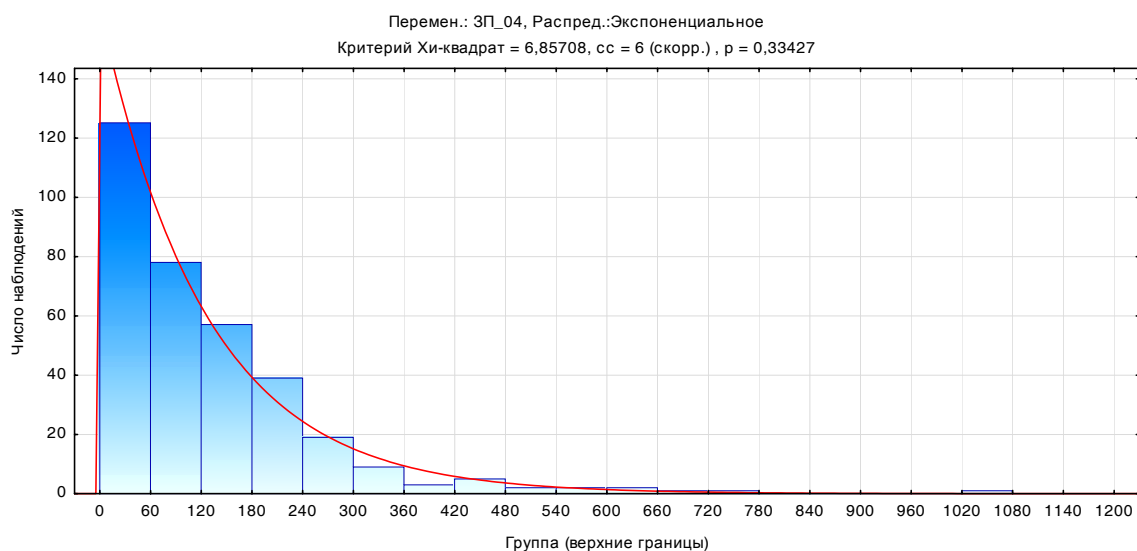


Рис. 1. Гистограмма распределения объема заказов

Важным элементом имитационной модели являются характеристики временных рядов потоков заказов на выбранную группу деталей [10, 20]. Временной ряд заказов из ремонтной зоны используется для задания входных данных о расходе запасных частей при имитационном моделировании системы управления запасами. Уже визуальный анализ рядов показал наличие трендов по отдельным позициям (рис. 2).



Рис. 2. График временного ряда объемов заказов позиции 7 (свеча зажигания)

Для оценки сезонности в работе проведен спектральный анализ временных рядов [10, 21, 22]. Спектральная плотность необходима для анализа периодичности ряда, которой не видно из простой визуализации. Для оценки спектральной плотности используется периодограмма, которая вычисляется как $\hat{f}_N(n, x) = \frac{1}{2\pi} \sum_{|n| \leq N} \left[1 - \frac{|n|}{N} \right] \hat{R}_N(n, x)$, и при условии $\forall |n| < N$ $\hat{R}_N(n, x) =$

$$= \hat{R}_N(|n|, x) \text{ составляет } \hat{f}_N(n, x) = \frac{1}{2\pi N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x e^{-i\lambda n} \right|^2.$$

В рамках проведенного анализа получены спектральные плотности всех исследуемых рядов, в частности, для позиции 7 (свеча зажигания) (рис. 3).

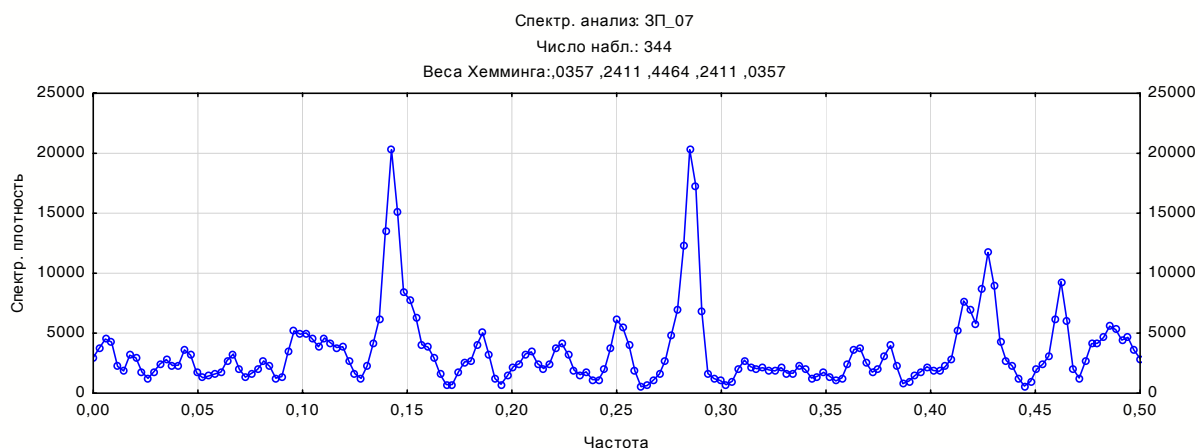


Рис. 3. Спектральная плотность объемов заказов

Из рис. 3 видно, что выявлены два пика для значений частоты 0,14 и 0,28, которые соответствуют недельному и полунедельному циклу. Эта тенденция прослеживается практически для всех позиций.

Такая тенденция сформирована традиционным приездом автовладельцев на обслуживание и ремонт в середине и ближе к концу недели для обеспечения исправного состояния автомобиля для поездок на выходные.

Полученный результат приводит к необходимости моделирования временных рядов с наложенной сезонной составляющей.

Полученные характеристики реальной системы управления запасами использованы при разработке и реализации алгоритма моделирования однопродуктовой (как наиболее простой) системы управления запасами. Укрупненная блок-схема алгоритма подпрограммы моделирования однопродуктовой системы управления запасами (рис. 4) содержит этапы генерации модельного ряда объемов запросов, принятия решения планирования заказа, контроля количества остатков на складе и др.

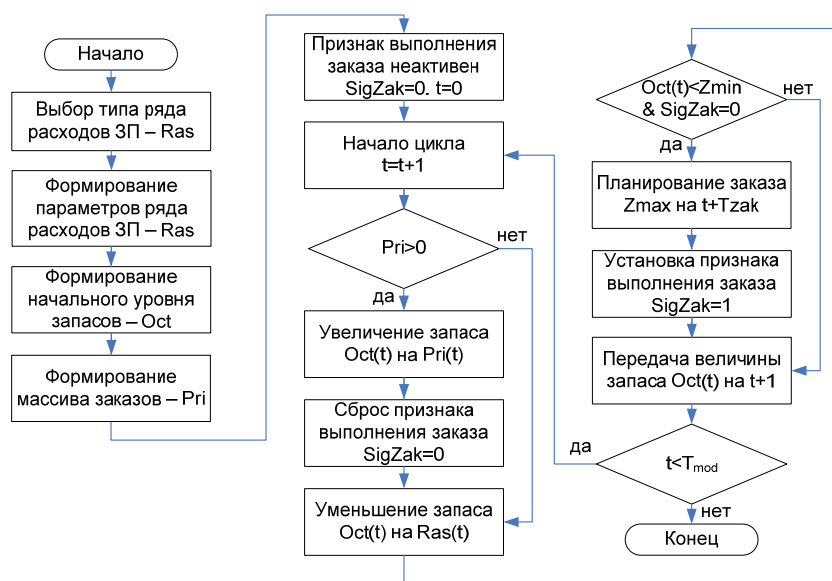


Рис. 4. Укрупненная блок-схема алгоритма подпрограммы моделирования однопродуктовой системы управления запасами

Приведенная имитационная модель позволяет моделировать отдельные выборочные траектории для различных комбинаций параметров, а также различных используемых моделей, в том числе моделей без дефицита и моделей с дефицитом.

Вопросы анализа экспериментов представляют отдельную подсистему, для которой выполнена программная реализация вариации всеми факторами модели и построения графиков и таблиц результатов.

По результатам прогона модели проведен анализ влияния на критериальную функцию (годовые издержки) контролируемых параметров модели, в том числе:

T_{mod} – горизонт планирования;

Z_{min} – точка заказа;

Z_{max} – максимальный объем заказа;

T_{zak} – время исполнения заказа;

s – плата за хранение;

g – плата за доставку;

h – штраф за отсутствие;

VR – тип временного ряда;

m_u – параметры ряда расходов.

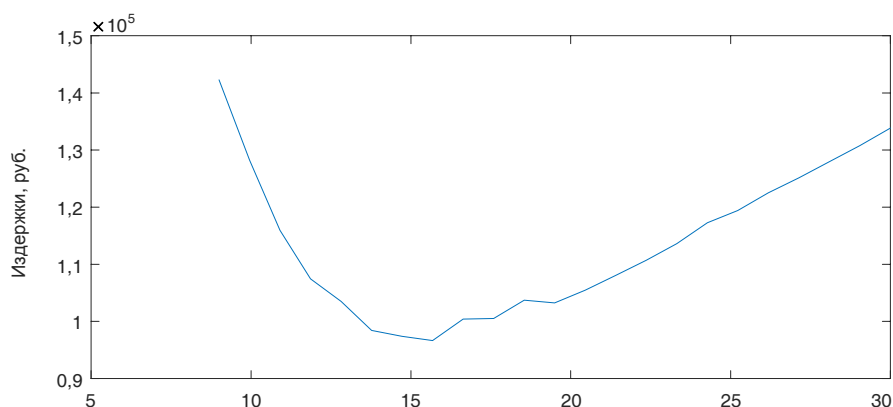


Рис. 5. Влияние параметра максимального объема заказа на величину издержек $F(Z_{min})$

В качестве примера на рис. 5 приведена зависимость величины суммарных издержек от максимального объема заказа.

Выводы

1. Сформулированы принципы разработки имитационной модели управления запасами запчастей и выполнена формальная декомпозиция параметров модели на входные неконтролируемые, входные контролируемые неуправляемые, входные контролируемые управляемые, выходные.

2. Для проведения статистического анализа с целью последующей параметризации имитационной модели сформирована совокупность номенклатуры деталей, предварительно разделенная на группы, обладающие априорной связностью потребностей и поставок.

3. Анализ потоков заказов показал близость распределений объемов к экспоненциальному и геометрическому. Анализ временных рядов объемов заказов на отдельные детали показал, что имеют место автокорреляционные, кросскорреляционные зависимости рядов. Спектральный анализ показал наличие сезонного характера потребностей в запчастях.

4. Разработана однопродуктовая имитационная модель управления запасами запчастей различной номенклатуры, для которых имеют место специфические случайные временные характеристики объемов заказов для реализации работ по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей.

5. В результате моделирования получены зависимости издержек от значений управляемых параметров для отдельных деталей: фильтров, кузовных деталей и деталей, используемых при ремонте привода ГРМ, что является основой для принятия эффективных управленческих решений в области управления запасами предприятия автосервиса.

Список литературы

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 395 с.
2. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. – М.: Альтекс, 2004. – 384 с.
3. Томашевский В.М. Имитационное моделирование в среде GPSS. – М.: Бестселлер, 2003 – 327с.
4. Ronzoni C., Ferrara A., Grassi A. A Stochastic Methodology for the Optimal Management of Infrequent Demand Spare Parts in the Automotive Industry // IFAC-PapersOnLine. – 2015. – Vol. 48, iss. 3. – P. 1405–1410.
5. Eaves A., Kingsman B.G. Forecasting for ordering and stock holding of spare parts // Journal of the Operational Research Society. – 2004. – № 55. – P. 431–437.
6. Howson C. Successful Business Intelligence, Second Edition: Unlock the Value of BI & Big Data. – McGraw-Hill, 2013. – 336 p.
7. Гайдерс М.А. Общая теория систем. – М.: ГЛОБУС-ПРЕСС, 2005. – 201 с.
8. Новосельцев В.И., Голиков В.К. Теоретические основы системного анализа. – М.: Майор, 2006. – 592 с.
9. Аугамбаев М., Иванов А.З., Терехов Ю.И. Основы планирования научно-исследовательского эксперимента / под ред. Г.М. Рудакова. – Ташкент: Укитувчи, 2004. – 336 с.
10. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. – М.: Мир, 1976. – 757 с.
11. Бережная Е.В., Бережной В.И. Математические методы моделирования экономических систем. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 431 с.
12. Теория статистики / под ред. Р.А. Шмойловой. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 655 с.
13. Wenbin Wang, Aris A. Syntetos. Spare parts demand: Linking forecasting to equipment maintenance // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. – 2011. – Vol. 47, iss. 6. – P. 1194–1209.
14. Каладзе В.А. Адаптация случайного поиска методом направляющего конуса // Вестник ВГТУ. – 2012. – Т. 8, № 1. – С. 31–37.
15. Определение потребности в запасных частях для ПО «Совинтер-автосервис» / В.С. Лукинский, В.И. Сергеев, Г.Ф. Фастовцев, А.Е. Трубицин, В.Т. Шугалей // Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей. – 1983. – № 10. – С. 8–34.
16. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
17. Власов М.П., Шимко П.Д. Моделирование экономических процессов. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 409 с.
18. Sydsaeter K. Essential mathematics for economic analysis. – FT: Prentice Hall, 2001. – 696 p.
19. Статистическая основа имитационного моделирования системы управления запасами предприятия автосервиса / В.А. Бугримов, А.В. Кондратьев, В.И. Сарбаев, В.В. Бородулин // Мир транспорта и технологических машин. – 2017. – № 1(56). – С. 132–138.
20. Осминин К.П. Алгоритмы построения статистик для анализа и прогнозирования нестационарных временных рядов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2009. – № 1. – С. 3–13.
21. Гельфанд А.М., Хмельник С.И. Цифровая фильтрация многомерных взаимозависимых нестационарных процессов. – М.: НПО «Дельфин Информатика», 2007. – 105 с.
22. Губанов В.А., Ковальджи А.К. Выделение сезонных колебаний на основе вариационных принципов // Экономика и математические методы. – 2001. – Т. 37, № 1. – С. 91–102.

References

1. Buslenko N.P. Modelirovanie slozhnykh system [Modeling of complex systems]. Moscow, Nauka, 1978, 395 p.
2. Ryzhikov Iu.I. Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriia i tekhnologii. [Simulation modeling. Theory and technology]. Moscow, Al'teks, 2004, 384 p.
3. Tomashevskii V.M. Imitatsionnoe modelirovanie v srede GPSS [Simulation modeling in GPSS environment]. Moscow, Bestseller, 2003, 327p.
4. Ronzoni C., Ferrara A., Grassi A. A stochastic methodology for the optimal management of infrequent demand spare parts in the automotive industry. *IFAC-PapersOnLine*, 2015, vol. 48, iss. 3, pp. 1405-1410.
5. Eaves A., Kingsman B.G. Forecasting for ordering and stock holding of spare parts. *Journal of the Operational Research Society*, 2004, no 55, pp. 431–437.
6. Howson C. Successful business intelligence, 2nd ed. Unlock the Value of BI & Big Data. McGraw-Hill, 2013, 336 p.
7. Gaiders M.A. Obshchaia teoriia system [General systems theory]. Moscow, GLOBUS-PRESS, 2005, 201 p.
8. Novosel'tsev V.I., Golikov V.K. Teoreticheskie osnovy sistemnogo analiza [Theoretical basis of system analysis]. Moscow, Maior, 2006, 592 p.
9. Augambaev M., Ivanov A.Z., Terekhov Iu.I. Osnovy planirovaniia nauchno-issledovatel'skogo eksperimenta [Basics of planning a research experiment]. Ed. G.M. Rudakova. Tashkent, Ukituvchi, 2004, 336 p.
10. Anderson T. Statisticheskii analiz vremennykh riadov [Statistical analysis of time series]. Moscow, Mir, 1976, 757 p.
11. Berezhnaia E.V., Berezhnoi V.I. Matematicheskie metody modelirovaniia ekonomicheskikh system [Mathematical methods of economic systems modeling]. Moscow, Finansy i statistika, 2005, 431 p.
12. Teoriia statistiki [Theory of statistics]. Ed. R.A. Shmoilovoi. Moscow, Finansy i statistika, 2004, 655 p.
13. Wenbin Wang, Aris A. Syntetos. Spare parts demand: Linking forecasting to equipment maintenance. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2011, vol. 47, iss. 6, pp. 1194-1209.
14. Kaladze V.A. Adaptatsiia sluchainogo poiska metodom napravliaiushchego konusa [Adaptation of random search by the method of guide cone]. *Vestnik VGTU*, 2012, vol. 8, no 1, pp. 31-37.
15. Lukinskii V.S., Sergeev V.I., Fastovtsev G.F., Trubitsin A.E., Shugalei V.T. Opredelenie potrebnosti v zapasnykh chastiakh dlia PO «Sovinter-avtoservis» [Determination of the need for spare parts for the production Association "Sovinteravtoservis"]. *Tekhnicheskaiia ekspluatatsiia i remont avtomobilei*, 1983, no. 10, pp. 8-34.
16. Ryzhikov Iu.I. Teoriia ocheredei i upravlenie zapasami [Teoriia ocheredei i upravlenie zapasami]. Sankt-Peterburg, Piter, 2001, 384 p.
17. Vlasov M.P., Shimko P.D. Modelirovanie ekonomicheskikh protsessov [Modeling of economic processes]. Rostov na Donu, Feniks, 2005, 409 p.
18. Sydsaeter K. Essential mathematics for economic analysis. FT: Prentice Hall, 2001, 696 p.
19. Bugrimov V.A., Kondrat'ev A.V., Sarbaev V.I., Borodulin V.V. Statisticheskaiia osnova imitatsionnogo modelirovaniia sistemy upravleniia zapasami predpriiatiia avtoservisa [Statistical basis of simulation modeling of the inventory management system of the car service company]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2017, no. 1(56), pp. 132-138.
20. Osminin K.P. Algoritmy postroeniia statistik dlia analiza i prognozirovaniia nestatsionarnykh vremennykh riadov [Algorithms of statistics construction for analysis and forecasting of non-stationary time series]. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy*, 2009, no. 1, pp. 3-13.
21. Gel'fand A.M., Khmel'nik S.I. Tsifrovaia fil'tratsiia mnogomernykh vzaimozavisimykh nestatsionarnykh protsessov [Digital filtration of multidimensional interdependent non-stationary processes]. Moscow, NPO «Del'fin Informatika», 2007, 105 p.
22. Gubanov V.A., Koval'dzhi A.K. Vydelenie sezonnykh kolebani na osnove variatsionnykh printsipov [Selection of seasonal variations on the basis of variational principles]. *Ekonomika i matematicheskie metody*, 2001, vol. 37, no. 1, pp. 91.

Получено 07.08.2018

Об авторах

Бугримов Виталий Алексеевич (Москва, Россия) – старший преподаватель кафедры «Наземные транспортные средства» Московского политехнического университета (107023, г. Москва, ул. Большая Семеновская, 38, e-mail: bugrimov_2308@mail.ru).

Сарбаев Владимир Иванович (Москва, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Наземные транспортные средства» Московского политехнического университета (107023, г. Москва, ул. Большая Семеновская, д. 38, e-mail: visarbaev@gmail.com).

Бородулин Василий Вячеславович (Москва, Россия) – аспирант кафедры «Наземные транспортные средства» Московского политехнического университета (107023, г. Москва, ул. Большая Семеновская, д. 38, e-mail: vasiliiy800@yandex.ru).

About the authors

Vitaliy A. Bugrimov (Moscow, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department of Land Vehicles, Moscow Polytechnic University (38, Bolshaya Semenovskaya st., Moscow, 107023, Russian Federation, e-mail: bugrimov_2308@mail.ru).

Vladimir I. Sarbaev (Moscow, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences Professor, Department of Land Vehicles, Moscow Polytechnic University (38, Bolshaya Semenovskaya st., Moscow, 107023, Russian Federation, e-mail: visarbaev@gmail.com).

Vasiliy V. Borodulin (Moscow, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Land Vehicles, Moscow Polytechnic University (38, Bolshaya Semenovskaya st., Moscow, 107023, Russian Federation, e-mail: vasilij800@yandex.ru).