

## Статистическое моделирование поставок комплектующих в сети ремонтных предприятий автомобильной промышленности

# 09, сентябрь 2013

DOI: 10.7463/0913.0615319

Барышников А. В., Чернявский А., Борщ В.

УДК 623.618

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

[avb@bmstu.ru](mailto:avb@bmstu.ru)

### Введение

В современных условиях высокой динамичности рынка и обострения конкуренции принятие оперативных проектных и управленческих решений невозможно без использования автоматизированных систем поддержки принятия решений (СППР). К современным СППР предъявляются следующие требования: анализ и интеграция большого числа внешних и внутренних источников информации; повышение оперативности анализа производственных процессов и прогнозирование их развития; расширение сферы лиц, участвующих в подготовке и принятии управленческих решений; извлечение и обработка знаний о тенденциях и закономерностях производственных ситуаций и процессов и др. Для реализации перечисленных требований широко используются информационные хранилища, системы оперативного анализа данных (OLAP, online analytical processing) и средства интеллектуального анализа данных (рис. 1).

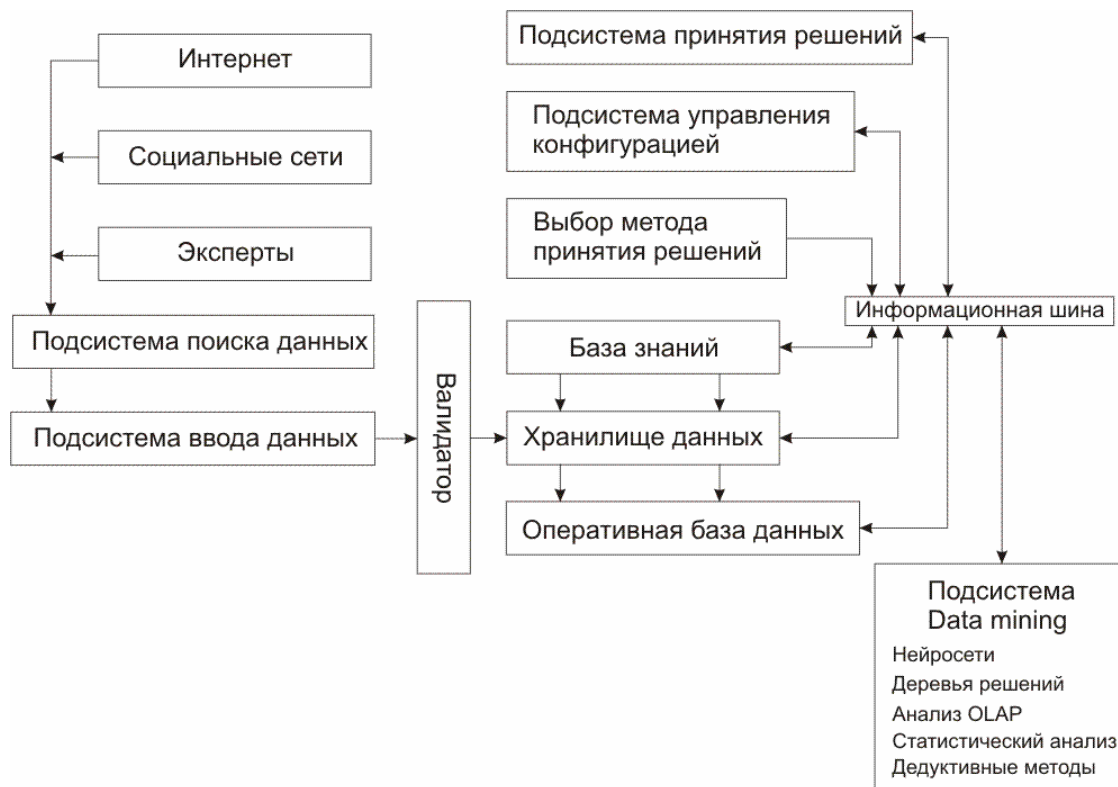


Рис. 1. Архитектура современной СППР

Базовая структура данных, используемая в технологии OLAP, создается агрегированием нескольких реляционных таблиц. Эта структура данных представляет собой многомерный информационный массив, поэтому часто называется OLAP-кубом.

Точное математическое описание OLAP-куба – весьма громоздко, поскольку требует использования терминов общей алгебры и теории решеток. Приведем упрощенное определение этого понятия, которое, может быть, и не удовлетворяет требованиям абсолютной математической корректности, но правильно передает суть понятия.

Информационный массив можно рассматривать как кубический фрагмент многомерного пространства, где индексам массива отвечают измерения (оси куба), а значения элементов массива соответствуют меры куба  $W(x, y, z) \rightarrow W_{xyz}$ , где  $x, y, z$  – измерения, а  $W$  – мера. Доступ к элементам и подмножествам OLAP-куба осуществляется по наборам измерений: полному или неполному. В первом случае образом измерений будет один элемент массива, во втором – некоторое его подмножество элементов  $W(x, y) \rightarrow W = (w_{z1}, w_{z2}, \dots, w_{zn})$ .

Важнейшими свойствами OLAP-кубов являются агрегирование и иерархичность данных. Это дает возможность использовать сложные алгоритмы запросов и интеллектуальной обработки информации, которые не имеют аналогов в стандартной реляционной алгебре. Технологии OLAP позволяют существенно повысить оперативность проведения аналитических

исследований и статистического анализа, основанного на множественных запросах к базе данных. Эта особенность OLAP-организации информации очень важна для решения слабо формализованных задач.

### Описание базы данных поставок комплектующих

Статистическая база данных заказов на определенные группы запчастей и комплектующих по предприятиям содержит следующие показатели: каталожный номер ( $N_{kat}$ ) и наименование товара ( $N_{tov}$ ); дата ввода документа ( $Dat$ ); количество комплектующих в начальном запросе ( $N_{in}$ ); количество отгруженных комплектующих по накладной ( $N_{out}$ ); количество неудовлетворенных заявок ( $Z_{no}$ ); цена за отгруженные комплектующие ( $Pr_{op}$ ); потери от неудовлетворенных заказов ( $Pr_{no}$ ); состояние заявки ( $S_{ost}$ ); код предприятия ( $DC_k$ ); название предприятия ( $DC_n$ ); код типа заявки ( $TP_{zk}$ ); наименование типа заявки ( $TP_{zn}$ ); дискаунт-групп ( $DG$ ); продакт-групп ( $PG$ ); код оборота ( $O_{bk}$ ); символьный код оборота ( $O_{bn}$ ); код прайс-листа ( $K_{pl}$ ); условные усредненные продажи за последние 100 дней ( $G_{ud}$ ); код модели ( $M_{odk}$ ); наименование модели ( $M_{odn}$ ).

Для статистического анализа данные по потокам заявок приведены к форме OLAP-технологий с классификацией на показатели, измерения, объекты и ячейки, которые приведены ниже (рис. 2).

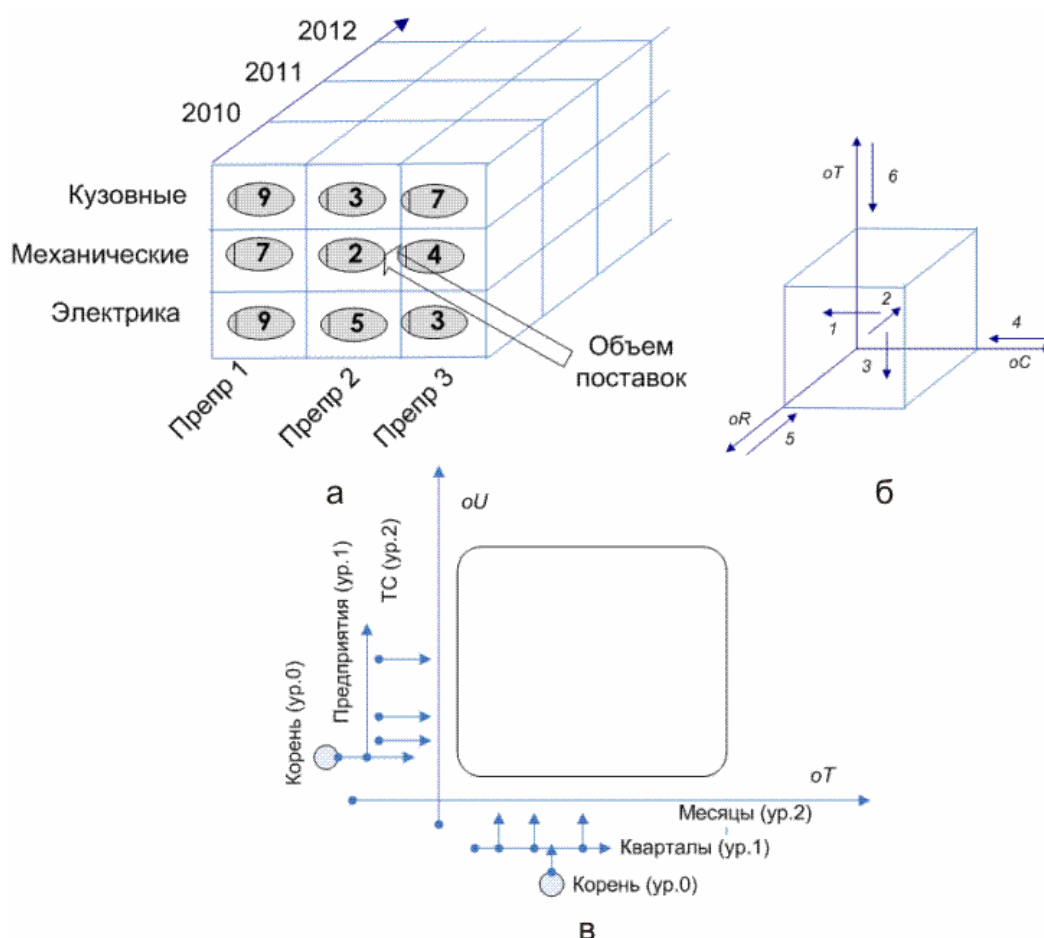


Рис. 2. Трёхмерный OLAP-куб с простыми измерениями

На этом рисунке: а – OLAP-куб, б – подмножество измерений, в – иерархия измерения.

**Показатели:**  $W$  – объём заказов (поступлений) в денежном эквиваленте,  $V$  – интенсивность заказов (поступлений) или поток заявок [1].

**Измерения:**  $N_{tov}$  – комплектующие,  $DC_n$  – предприятие,  $S_{ost}$  – состояние заявки,  $T_p$  – тип заявки,  $DG$  – дискаунт-групп,  $PG$  – продакт-групп,  $O_{bk}$  – код оборота,  $K_{pl}$  – код прайс-листа,  $M_{odn}$  – модель,  $T$  – время.

**Объекты:**

$S_{ost}$  – состояние заявки [0 – не выполнена; 1 – выполнена; 2 – отказ дилера; 3 – не обрабатывается; 4 – резерв; 5 – обработка, нет на складе; 6 – обработка, 7 – неполное списание];

$T_p$  – тип заявки [1-S – складская, 2-T,W – оперативная, 4-A – Дополнительный, 7-G – гарантии ММС, 5-N – новые условия, 3-V – клиентская]

$DG$  ( $PG$ ) – дискаунт-групп (продакт-групп) [D – кузовные, M – механическая, E – электрика, R, X – расходники];

$O_{bk}$  – код оборота [1 – Fast, 2 – Middle, 3 – Low, 4 – Slow, 5 – Top];

$K_{pl}$  – код прайс-листа [1 – оригинальные запчасти, 2 – оригинальный опцион, 3 – опцион неоригинальные, 4 – неоригинальные, 5 – шины, 6 – технические жидкости];

$T$  – временное измерение (имеется статистика с 2010 по 2012 годы). Для временной шкалы: Дни, Месяцы, Кварталы, Годы, наиболее часто используемые в анализе.

**Ячейки:**  $W$  – объём заказов,  $V$  – интенсивность заказов.

**Статистический анализ потоков поставок**

Интерпретация статистических результатов, полученных в работе, проводится на примере данных по поставкам комплектующих в сети ремонтных предприятий автомобильной промышленности, которая включает данные по поставкам за три года [2]. Полный объём базы за один месяц – от 60 до 100 тысяч наименований.

Решение задачи синтеза управления поставками, в первую очередь, основывается на прогнозе различных финансовых показателей [3]. Так за два квартала 2012 года графики объемов заказов приведены на рис. 3.

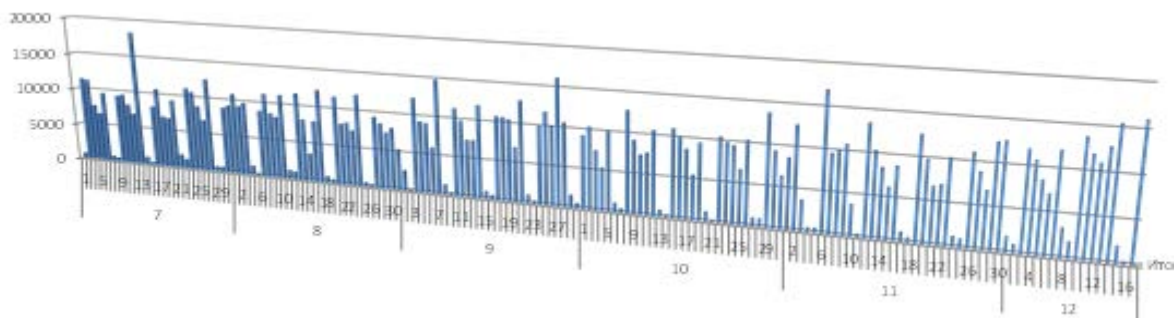


Рис. 3. *Временные ряды потоков поставок по всем предприятиям*

В работе проведено упорядочение предприятий по объему потоков (табл. 1). Анализ объема поставок в денежном выражении показывает, что 50% оборота сети достигается 21 предприятием (при общем количестве – 159); структура оборота по его скорости примерно идентична для всех предприятий; запасные части и комплектующие по типу  $S$  – с длительным сроком оборачиваемости менее всего представлены в структуре поставок [4].

Таблица 1. *Распределения объемов заказов по предприятиям*

Предприятие	Объем	%	Накопл. %
113	330888	4,91%	4,91%
1329	272609	4,04%	8,95%
13	267231	3,97%	12,92%
114	252800	3,75%	16,67%
212	218314	3,24%	19,91%
997	199116	2,95%	22,86%
14	167297	2,48%	25,35%
405	153166	2,27%	27,62%
32	137112	2,03%	29,65%
231	131721	1,95%	31,61%
1378	125022	1,86%	33,46%

Динамика потоков заказов от выделенной группы предприятий за три года приведена на рис. 4.

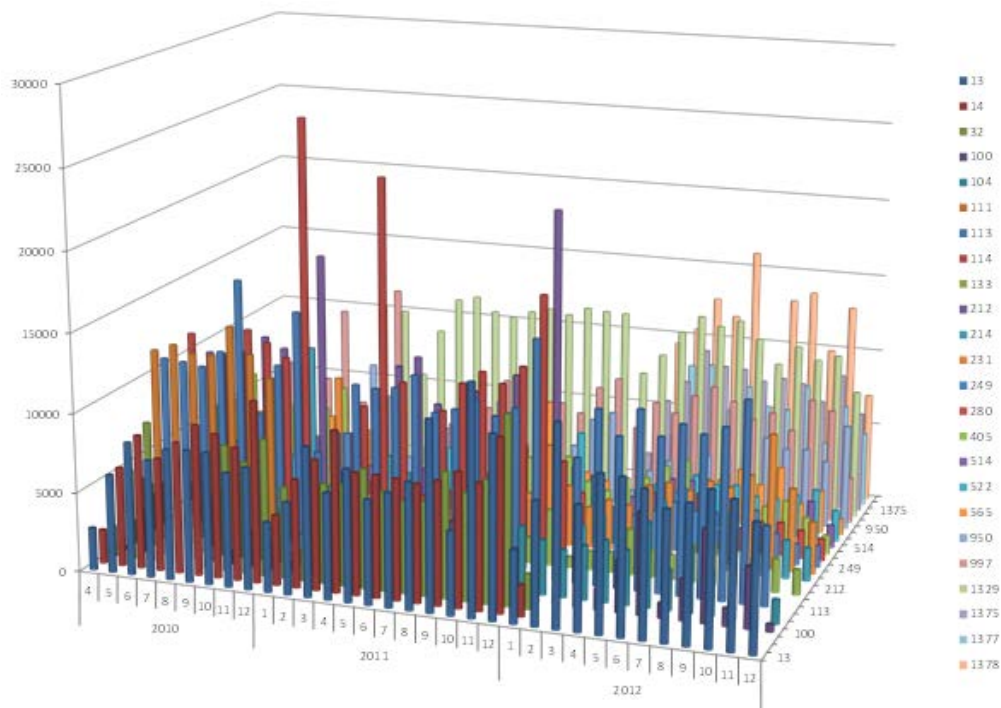


Рис. 4. Динамика заказов по предприятиям

Сезонный характер объемов заказов хорошо виден на графиках, показанных на рис. 5.

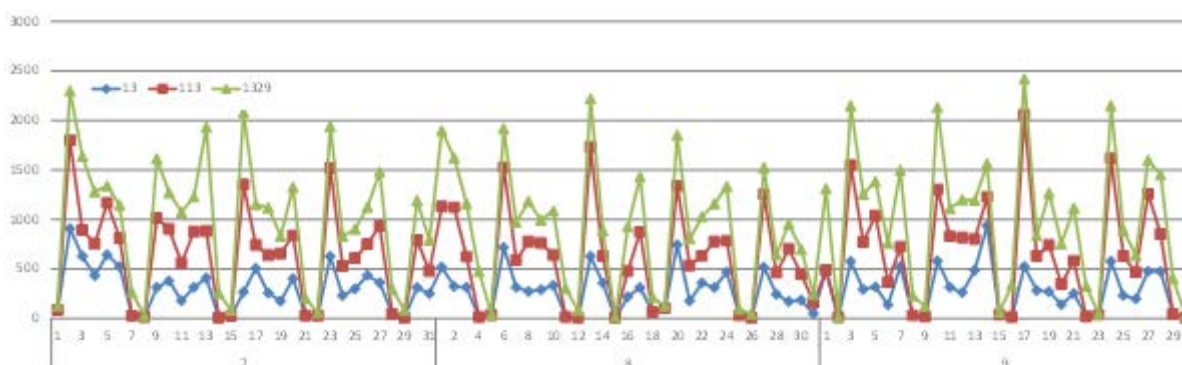


Рис. 5. Сезонный временной ряд потоков заказов

В результате статистической обработки динамики показателей риска получены спектральная плотность и линейный тренд потоков, графики которых представлены на рис. 6. Для проверки гипотезы об однородности дисперсий, полученных по выборкам разного объема, использован критерий Бартлетта [5].

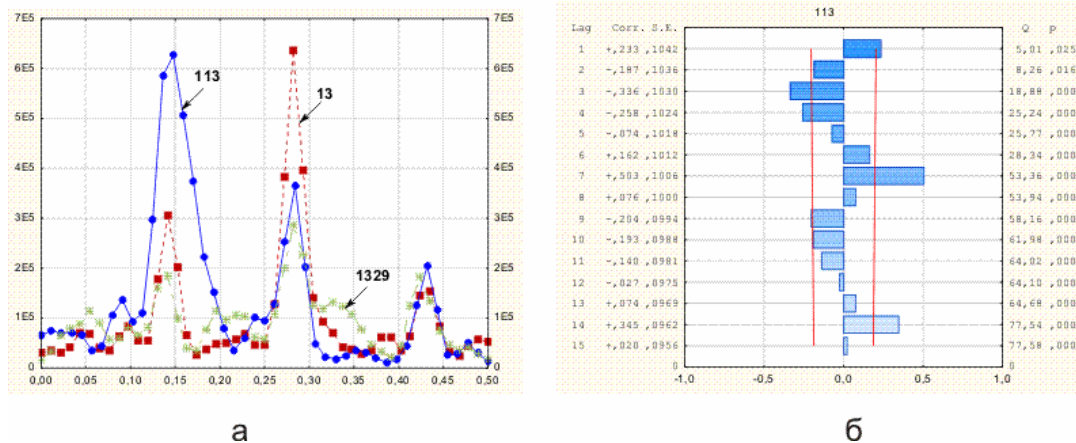


Рис. 6. Спектральные плотности (а) и автокорреляционные функции (б) объема потоков

График спектральной плотности явно показывает три пика, которые недельным, месячным и кварталным циклами, что связано со сроками поставок. При этом для различных предприятий на эти пики приходится принципиально различное распределение объемов [6].

На основе накопленных статистических данных проведен анализ потребностей для различных групп запчастей и комплектующих (рис. 7).

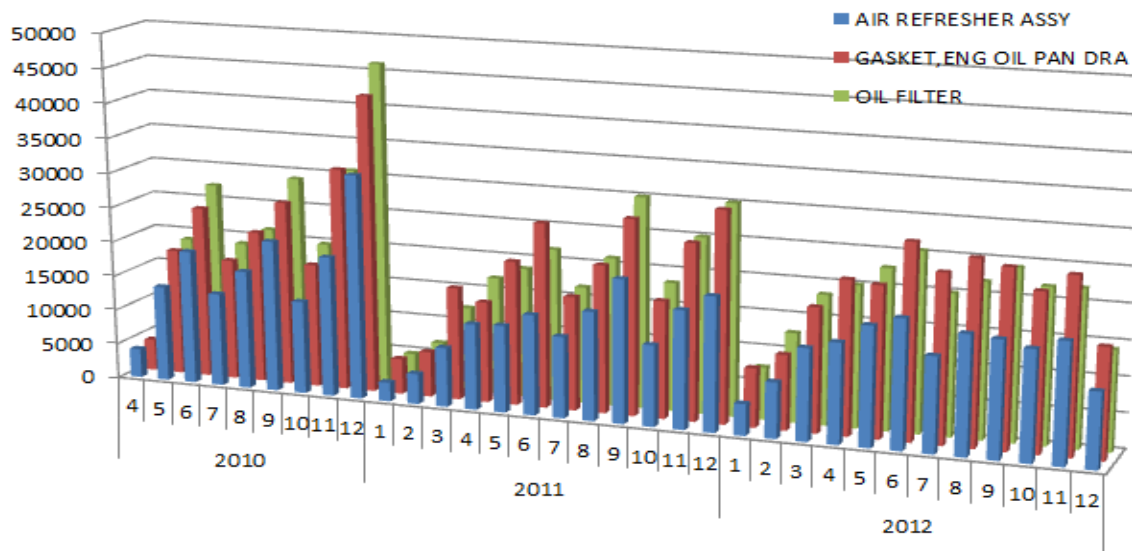
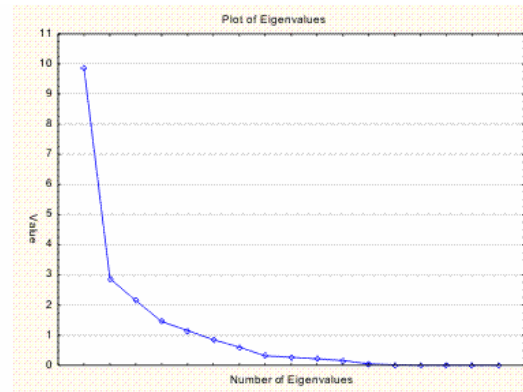


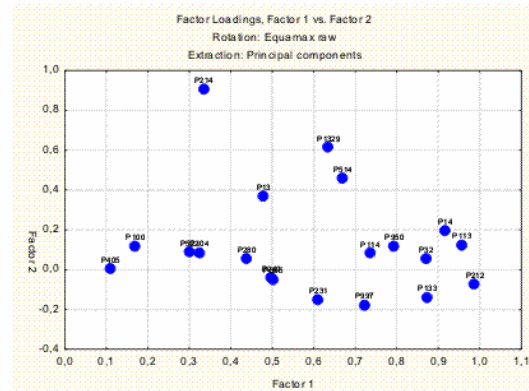
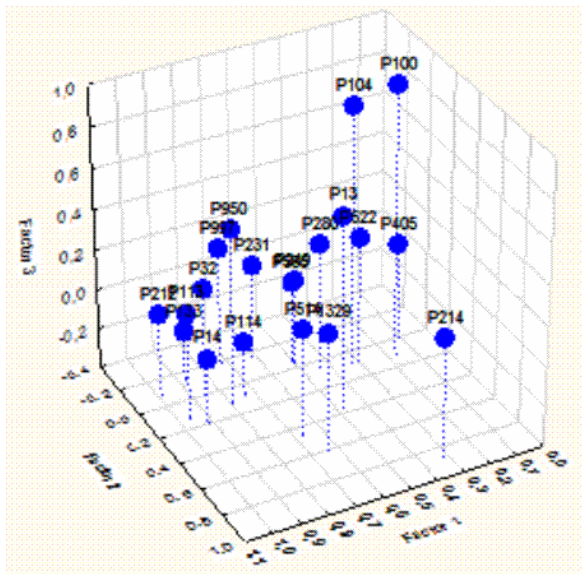
Рис. 7. Среднемесячная интенсивность запросов на основные запчасти

Корреляционный анализ подтвердил наличие статистически значимых зависимостей между потоками заказов на определенные позиции комплектующих [7]. Реализован факторный анализ данных, который выявил наиболее значимые факторы, определяющие общую тенденцию заказов выявил наиболее значимые факторы, определяющие общую тенденцию заказов [3]. Результаты факторного анализа показаны на рис. 8-9.

Eigenvalues (DB_Sol_AI_2)				
Extraction: Principal components				
Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	9,878168	49,39084	9,87817	49,39084
2	2,878355	14,39178	12,75652	63,78262
3	2,152269	10,76135	14,90879	74,54396
4	1,452912	7,26456	16,36170	81,80852
5	1,155701	5,77851	17,51741	87,58703
6	0,848979	4,24490	18,36638	91,83192
7	0,606273	3,03136	18,97266	94,86329
8	0,316936	1,58468	19,28959	96,44797
9	0,267738	1,33869	19,55733	97,78666
10	0,214619	1,07310	19,77195	98,85975



а б  
Рис. 8. Информативность главных факторов



а б  
Рис. 9. Представление исходных рядов через вращение главных факторов

Кроме того, проведен кросскорреляционный анализ, который также показал наличие существенных корреляций между различными потоками по различным группам предприятий и номенклатуры комплектующих. Результаты анализа можно видеть на рис. 10.

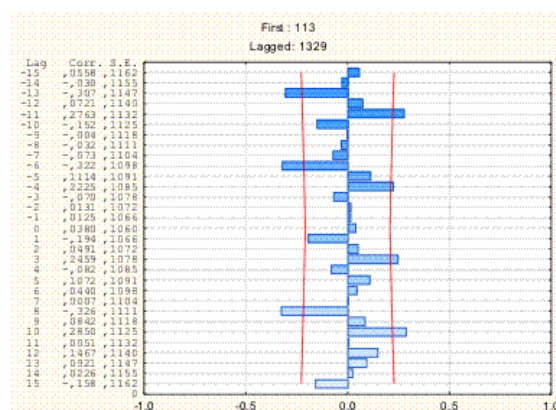
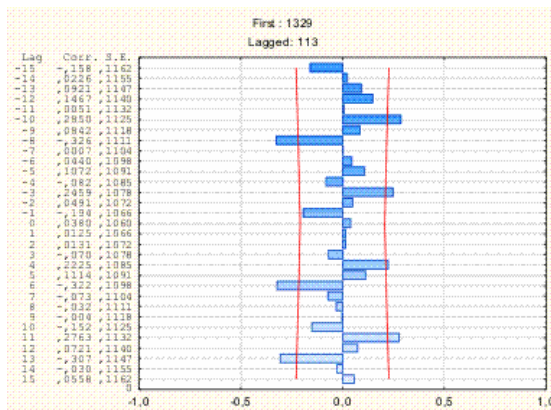


Рис. 10. Результаты кросскорреляционного анализа объема потоков заказов на запчасти и комплектующие



Проведен статистический анализ различных типов отказов заявок (0 – не выполнена; 1 – выполнена; 2 – отказ дилера; 3 – не обрабатывается; 4 – резерв; 5 – обработка, нет на складе; 6 – обработка, неполное списание) для различных типов оборачиваемости (1 – Fast, 2 – Middle, 3 – Low, 4 – Slow, 5 – Top). Статистика оборачиваемости в виде столбцовой диаграммы приведена на рис.11.

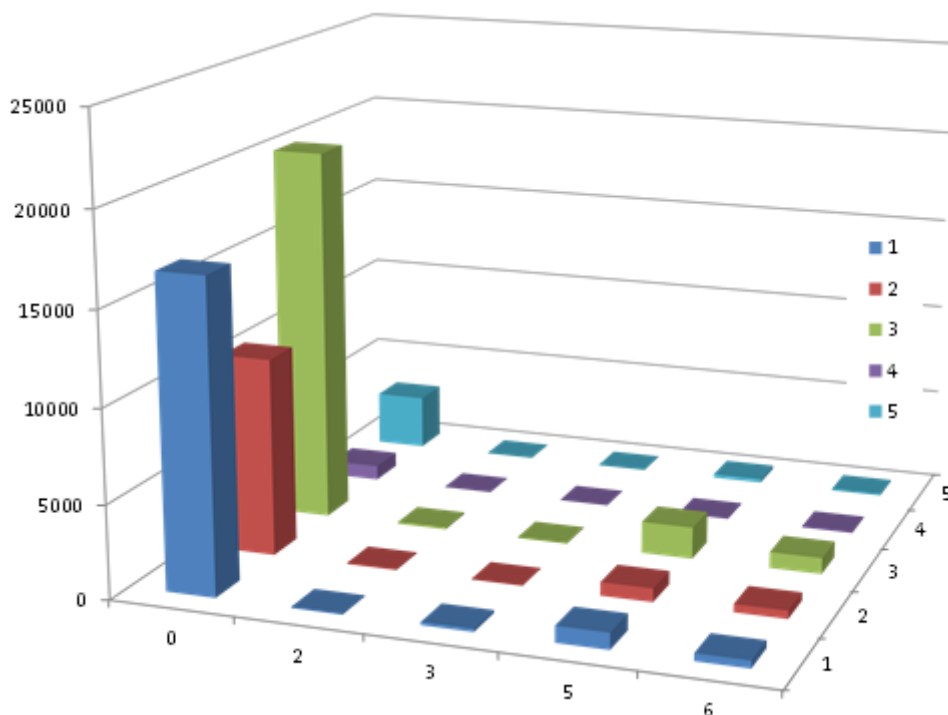


Рис. 11. Статистика невыполненных заявок по оборотным группам

Основная номенклатура запчастей определена по принципу оригинальности поставляемых комплектующих и их типу. При этом был реализован анализ распределения заявок по скорости оборота.

Оказалось, что наиболее прибыльной является группа комплектующих по гидравлике. Кроме того, для этих комплектующих имеет место и наибольший оборот. Это свидетельствует о хорошо продуманной стратегии сбыта комплектующих при заданной централизованной схеме снабжения. Навесное оборудование является менее прибыльным, но также высоко востребованным. Статистический анализ показал наличие существенных различий между рентабельностями продаж различных групп комплектующих.

### Заключение

Представленные в статье результаты статистического анализа выявили ряд интересных закономерностей на рынке поставок комплектующих в сети ремонтных предприятий автомобильной промышленности. Интересные результаты дал спектральный анализ, выявив одни и те же циклы сезонности

для различных групп предприятий с абсолютно различными перераспределениями объемов заказов. Построенные автокорреляционные функции потоков заказов позволяют получить модель генерации потоков для последующего имитационного моделирования процессов управления запасами при формировании заказов на определенные виды комплектующих.

### Список литературы

- 1 Николаев А.Б., Тимофеев П.А., Крайнюк О.В., Строганов В.Ю.  
Контроль качества продукции асфальтобетонного завода // Информационные системы и технологии. 2011. № 5 (67). С. 106-112.
- 2 Николаев А.Б., Солнцев А.А., Саная А.Г., Якунин П.С. Методы организации и моделирования дилерских сетей // В мире научных открытий. 2012. № 12. С. 163-173.
- 3 Рогова Р.Н. Экономический анализ на транспорте: учеб. пособие. М.: МАДИ, 1984. 79 с.
- 4 Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование. М.: Финансы и статистика, 2001. 2010 с.
- 5 Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление : пер. с англ. В 2 вып. Вып. 1. М.: Мир, 1974. 406 с.
- 6 Николаев А.Б., Приходько М.В., Сатышев С.Н., Солнцев А.А., Якунин П.С. Имитационные модели оценки качества транспортного обслуживания // Автотранспортное предприятие. 2013. № 2. С. 52-54.
- 7 Николаев А.Б., Строганов В.Ю., Солнцев А.А., Тимофеев П.А., Брыль В.Н. Методика интеграции приложений в гибридной системе поддержки принятия решений с открытой структурой // Информационные системы и технологии. 2011. № 3 (65). С. 84-91.

## Statistical modeling of component supplies in the network of repair providers in auto industry

# 09, September 2013

DOI: 10.7463/0913.0615319

Baryshnikov A.V., Chernyavskii A.I., Borsch V.V.

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation

[avb@bmstu.ru](mailto:avb@bmstu.ru)

The article deals with the statistical analysis of a database of component and spare part supplies of the network of repair providers in automotive industry. Tests of regression, variance, correlation, factor analysis and other methods of multivariate statistical analysis were performed. Some patterns of the order placement, allowing one to build forecasting procedures for sales volume in a more substantiated way were obtained.

**Publications with keywords:** [spectral analysis](#), [correlation analysis](#), [factor analysis](#), [OLAP-technology](#), [OLAP-cube](#), [automotive enterprises](#)

**Publications with words:** [spectral analysis](#), [correlation analysis](#), [factor analysis](#), [OLAP-technology](#), [OLAP-cube](#), [automotive enterprises](#)

### References

- 1 Nikolaev A.B., Timofeev P.A., Kraynyuk O.V., Stroganov V.Yu. Kontrol' kachestva produktsii asfal'tobetonno go zavoda [Product quality control of asphalt-concrete plant]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii*, 2011, no. 5 (67), pp. 106-112.
- 2 Nikolaev A.B., Solntsev A.A., Sanaya A.G., Yakunin P.S. Metody organizatsii i modelirovaniya dilerskikh setey [Methods of organization and modeling of dealer networks]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [In the World of Scientific Discoveries], 2012, no. 12, pp. 163-173.
- 3 Rogova R.N. *Ekonomicheskiy analiz na transporte* [Economic analysis of the transport sector]. Moscow, MADI Publ., 1984. 79 p.
- 4 Afanas'ev V.N., Yuzbashev M.M. *Analiz vremennykh ryadov i prognozirovaniye* [Time series analysis and forecasting]. Moscow, Finansy i statistika, 2001. 2010 p.
- 5 Box G.E.P., Jenkins G.M. *Time series analysis. Forecasting and control*. San Francisco, CA, Holden-Day, 1970. (Russ. ed.: Box G., Jenkins G. *Analiz vremennykh ryadov. Prognoz i upravlenie. V 2 vyp. Vyp. 1*. Moscow, Mir, 1974. 406 p.).

- 6 Nikolaev A.B., Prikhod'ko M.V., Satyshev S.N., Solntsev A.A., Yakunin P.S.  
Imitatsionnye modeli otsenki kachestva transportnogo obsluzhivaniya [Simulation models of assessing quality of transport services]. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2013, no. 2, pp. 52-54.
- 7 Nikolaev A.B., Stroganov V.Yu., Solntsev A.A., Timofeev P.A., Bryl' V.N. Metodika integratsii prilozheniy v gibridnoy sisteme podderzhki prinyatiya resheniy s otkrytoy strukturoy [Method of application integration in hybrid decision support system with an open structure]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii*, 2011, no. 3 (65), pp. 84-91.