

УДК 338.364

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-4-216-230>

Математическая модель анализа данных запросов сервисного обслуживания и рекламаций предприятия

А.В. Быкова¹ ✉

¹ Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
Вадковский пер., д.3а, г. Москва 127055, Российская Федерация

✉ e-mail: balabolik@mail.ru

Резюме

Цель исследования: повышение эффективности и контроля процессов производства путем выявления потенциальных скрытых рисков возникновения инцидентов и дефектов продукции предприятия на этапе постпроизводственной эксплуатации.

Методы. В данной статье рассматривается процесс автоматизированного интеллектуального анализа запросов сервисного обслуживания и рекламаций производственного предприятия. Данный процесс включает в себя анализ поступающих данных о произошедших инцидентах и дефектах продукции, и поиск причинно-следственных связей с производственными процессами различных этапах ЖЦИ. Запросы о произошедших дефектах и инцидентах продукции предварительно регистрируются в единой базе данных предприятия через CRM-систему и доступны для дальнейшего анализа. Для выполнения исследования разработана математическая модель анализа запросов сервисного обслуживания и рекламаций с применением факторного анализа.

Результаты. На основе математической модели выполнен практический анализ данных предприятия с выделением главных факторов. Расчеты выполнены с применением пакета статистической обработки данных STATISTICA. Физическая интерпретация полученных скрытых факторов позволяет объяснить происхождение ряда возникших инцидентов и дефектов продукции, предоставить экспертное заключение и принять меры по дальнейшей корректировке производственных процессов. Практическое применение разработанной математической модели выполнено в виде программного модуля, который внедряется в CRM-систему предприятия в качестве дополнительной компоненты для автоматизированной обработки данных.

Заключение. Для проведения регулярного контроля предварительно подготовленные данные запросов сервисного обслуживания и рекламаций поступают из CRM-системы на анализ. Разработанный программный модуль проводит автоматизированный анализ поступивших данных. Результаты анализа подвергаются физической интерпретации и используются для принятия обоснованных управленческих решений на предприятии, что позволяет проводить регулярный контроль существующих производственных процессов предприятия и вносить соответствующие корректировки для повышения эффективности производственных процессов.

Ключевые слова: сервис; рекламации; ремонт; факторный анализ; статистика; CRM-система.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Быкова А.В. Математическая модель анализа данных запросов сервисного обслуживания и рекламаций предприятия // Известия Юго-Западного государственного университета. 2025; 29(4): 216-230. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-4-216-230>.

Поступила в редакцию 23.07.2025

Подписана в печать 10.09.2025

Опубликована 22.12.2025

© Быкова А.В., 2025

Mathematical model of data analysis of service requests and complaints at an enterprise

Anna V. Bykova ¹ ✉

¹ Moscow State University of Technology "STANKIN"
Vadkovskii alleyway, 3a, Moscow 127055, Russian Federation

✉ e-mail: balabolik@mail.ru

Abstract

Purpose of research: improving the efficiency and control of production processes by identifying potential risks of incidents and product defects during post-production stage.

Methods. This article examines the analysis of service requests and complaints automated processing at an enterprise. This process includes the analysis of incoming data on product incidents and defects and the search for cause-and-effect relationships with production processes at various stages of the product life cycle. Requests about defects and product incidents are pre-registered in the unified database through the CRM-system and are available for further analysis. To carry out the research, a mathematical model for analyzing service requests and complaints using factor analysis was developed.

Results. Based on the mathematical model, a practical analysis of the enterprise's data was carried out and the main factors have been identified. The calculations were performed using the STATISTICA data processing package. The physical interpretation of the obtained factors makes it possible to explain the cause of incidents and defects, provide an expert opinion and to take measures on further production processes adjustments. The practical application of the developed mathematical model is carried out as the software module, which is implemented into the CRM system at an enterprise as an additional component for automated data processing.

Conclusion. The pre-prepared data of service requests and complaints is sent from the CRM system for analysis. The developed software module performs an automated analysis of the received data. The results of the analysis are physically interpreted and used to make management decisions at the enterprise, which allows regular monitoring of current production processes of the enterprise and make appropriate adjustments to improve the efficiency of production processes.

Keywords: service; complaints; repair process; factor loading; statistic; CRM-system.

Conflict of interest. The Author declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Bykova A.V. Mathematical model of data analysis of service requests and complaints at an enterprise. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2025; 29(4): 216-230 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-4-216-230>.

Received 23.07.2025

Accepted 10.09.2025

Published 22.12.2025

Введение

Целью исследования является повышение эффективности и контроля процессов производства, путем выявления

потенциальных скрытых рисков возникновения инцидентов и дефектов продукции на этапе постпроизводственной эксплуатации. По заключению специалистов в области проектирования и развития ав-

томатизированных систем основным направлением развития и поддержания конкурентоспособности промышленных предприятий является внедрение цифровых технологий и интеллектуальных систем [1, 2, 3].

Задачей разрабатываемого математического аппарата анализа данных является определение зависимостей между производственными процессами на этапах жизненного цикла изделия (далее ЖЦИ¹) [4, 5] и возникновением инцидентов и дефектов продукции, зафиксированных в CRM-системе предприятия в виде клиентских запросов сервисного обслуживания и рекламаций². [6, 7]. Выявленные зависимости позволяют выявить скрытые причины возникновения дефектов продукции и провести корректирующие мероприятия по их устранению.

Данный математический аппарат служит частью автоматизированной системы поддержки принятия управленческих решений [8] и позволяет вычислить

влияющие факторы для дальнейшего экспертного определения физической обоснованности полученных результатов, привязанных к реальной производственной ситуации.

Материалы и методы

При выполнении исследования используется методы математического моделирования, статистики, экспертно-аналитического, сравнительного и факторного анализа.

Возникновение инцидентов и дефектов продукции зависит от большого количества характеристик самой продукции, особенностей ее эксплуатации и обслуживания, среди которых напрямую сложно установить взаимосвязи. [9] При использовании CRM-системы в качестве единой точки входа, вся информация по запросам сервисного обслуживания размещается в стандартизированном виде в едином хранилище [10]. Параметрами запросов является перечень характеристик, среди которых можно выделить:

- наименование продукции;
- тип комплектующего оборудования;
- модель комплектующего оборудования;
- тип инцидента;
- детали инцидента;
- адрес установки (страна/регион/край/область/город);
- дата отгрузки продукции;
- наименование транспортной компании или данные водителей собственной службы доставки;

¹ Жизненный цикл изделия (жизненный цикл продукции) — последовательные и взаимосвязанные стадии системы жизненного цикла продукции от приобретения или производства из природных ресурсов или сырья до конечного размещения в окружающей среде (в виде отходов, сбросов и выбросов).

² Рекламация — письменное заявление потребителя по установленной форме поставщику изделия военной техники на обнаруженные в период действия гарантийных обязательств дефекты, несоответствия комплектности и/или другие несоответствия поставленного изделия военной техники, выполненной работы (оказанной услуги) установленным требованиям, а также требование об их устранении, восстановлении исправного состояния (замене) или укомплектованности дефектного изделия военной техники или повторном выполнении работы (оказания услуги).

- статус изделия (на гарантийном обслуживании/на постгарантийном обслуживании/истек срок гарантийного обслуживания);

- дата поступления запроса сервисного обслуживания;

- предоставленное решение по запросу сервисного обслуживания;

- трудоемкость по разрешению запроса сервисного обслуживания.

Список может быть расширен набором специфических характеристик конкретного предприятия, что определяет универсальность предложенной методики анализа данных клиентских запросов сервисного обслуживания и рекламаций. Это могут быть финансовые показатели стоимости продукции, затраты на ремонт, замену комплектующих по запросу сервисного обслуживания или производственные характеристики толщины и состава металла, типа крепления деталей, особенности обработки деталей при производстве, данные конструкторской документации, фамилии ответственных рабочих, конкретных сервисных инженеров или наименования производственных отделов.

По мнению исследователей, в этой области для таких ситуаций целесообразно применение методов многомерного статистического анализа, позволяющих найти решение подобных задач стандартными математическими подходами. Итоговым решением подобных задач служат многомерные массивы дискретных величин, выражающие зависимость искомой функции (управляющего

параметра) от определяющих параметров рассматриваемой задачи. На основе исходных статистических данных, предоставленных для анализа, с помощью многомерных статистических методов можно выбрать и обосновать выбор наиболее показательной, с точки зрения описания, математической модели.

Анализ многомерных данных – это совокупность методов и алгоритмов, позволяющих получить максимально возможную информацию о массиве числовых данных, расположенных в некоторой области многомерного пространства.

На основе изученных работ Буре-евой Н.Н., Бондарева А.Е., Ким Дж., Мюллера Ч. и научных статей авторов в области анализа многомерных данных [11, 12, 13, 14, 15] для рассматриваемой задачи выявления зависимостей между производственными процессами и множеством исходных параметров, целесообразным и необходимым считается отбор наиболее существенных параметров, поступивших в CRM-систему запросов сервисного обслуживания и рекламаций, для дальнейшего отбора и изучения минимально необходимого количества показателей. Выполнение отбора показателей производится методами снижения размерности, одним из которых является факторный анализ. Это позволит описать исследуемые данные, структуру и их взаимосвязи более точно и просто, так как для исследования будет взято меньшее количество факторов, чем количество показателей в первоначальной задаче. Выявленные факторы не являются непо-

средственными показателями исследуемых наблюдений, они не изменяются и не поступают в качестве входящих параметров наблюдений. Факторы еще называют скрытыми (латентными) переменными, имеющими связи с признаками поступающих в CRM-систему запросов сервисного обслуживания и рекламаций.

Представим в общем виде, что в рассматриваемую CRM-систему предприятия поступило n запросов на возникновение инцидентов по выпущенной продукции. В запросе сервисного обслуживания указаны значения p признаков поступивших инцидентов и получены значения случайных многомерных нормально распределенных величин. Для удобства будем считать исследуемые наблюдения $X_1, X_2, \dots, X_n$ нормированными. Представим модель в виде матрицы наблюдений

$$X=(X_{ik}), \quad (1)$$

где X_{ik} – значение k -го признака для i -го запроса сервисного обслуживания (рекламации), поступившего в рассматриваемую CRM-систему.

$$X_i=(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip}), \quad (2)$$

где $i=1, 2, \dots, n$.

В изученной научной литературе для достижения эффективности использования выбранного математического аппарата рекомендуется исследовать количество наблюдений n , соответствующее числу рассматриваемых признаков p : $n \gg p$. Таким образом, количество анализируемых запросов n должно значительно превосходить количество признаков p , описывающих поступившие инциденты.

Для выполнения этого условия будем проводить анализ по запросам сервисного обслуживания, поступившим в CRM-систему за выбранный период времени.

Большое количество известных признаков p по каждому запросу сервисного обслуживания не позволяет построить наглядную корреляционную матрицу этих признаков и установить их взаимосвязи с производственными процессами.

Поэтому главной задачей проводимого факторного анализа считается снижение количества p исходных внешних признаков запросов и построение перехода к меньшему количеству искусственно построенных факторов m , что, в свою очередь, позволяет построить наиболее показательную систему зависимых скрытых факторов $f_1, f_2, \dots, f_m$, при условии, что $m < p$. Такие факторы принято называть общими или главными, которые непосредственно имеют выявленные зависимости с исходными признаками p . Применяя методы факторного анализа к настоящему исследованию, выявим гипотетические (ненаблюдаемые) факторы, призванные объяснить корреляционную матрицу количественных наблюдаемых показателей поступивших запросов сервисного обслуживания и объяснить их взаимосвязь с производственными процессами. В рамках решения поставленной задачи определения зависимостей большого количества признаков поступивших запросов сервисного обслуживания и производственных процессов, недостаточно установить факт существования меньшего числа скрытых

факторов. Для практического решения поставленной задачи необходимо непосредственно определить эти общие факторы и дать им содержательную интерпретацию.

Добавим условия наблюдений, выполнение которых обязательно для эффективного применения аппарата:

$$n \gg p.$$

Характерные факторы $e_{hi}=0$ для i -го запроса сервисного обслуживания, где h – порядковый номер характерного фактора. Факторы e_{hi} одновременно влияют только на одну переменную и не представляют физической ценности для дальнейшего исследования;

Факторы погрешности $e_{si}=0$ для i -го запроса сервисного обслуживания, где s – порядковый номер фактора погрешности. Такие факторы включают в себя погрешность выполняемых наблюдений, поэтому не имеют конкретного значения и могут быть случайными.

Построим практическую модель факторного анализа исследуемого нормированного наблюдения, учитывающего данные каждого запроса сервисного обслуживания в установленный период наблюдения и запишем в виде

$$x_{ik} = a_{1k}f_{i1} + a_{2k}f_{i2} + \dots + a_{jk}f_{ij} + \dots + a_{(m-1)k}f_{i(m-1)} + a_{mk}f_{im} = \sum_{j=1}^m a_{jk}f_{ij}, \quad (3)$$

где $i=1, 2, \dots, n$ – порядковый номер запроса сервисного обслуживания, поступившего в рассматриваемую CRM-систему; $k=1, 2, \dots, p$ – порядковый номер

признака рассматриваемого запроса сервисного обслуживания; n – количество исследуемых запросов; p – количество признаков, характерных для каждого запроса; m – количество общих факторов; f_j – общие факторы, которые влияют на несколько переменных x_i поступающих запросов одновременно, где $j=1, 2, \dots, m$; a_{jk} – нагрузка фактора j на признак k (факторная нагрузка).

В табл. 1 представлена в общем виде матрица нагрузок на признаки рассматриваемых запросов сервисного обслуживания и рекламаций исследуемого производственного предприятия.

Факторные нагрузки – это значения коэффициентов корреляции каждого из исходных признаков запроса с каждым из выявленных искусственно-построенных факторов.

В матричном виде модель выглядит как

$$X=AF, \quad (4)$$

где $A = a_{jk}$ – прямоугольная $m \times p$ матрица нагрузок общих факторов на исследуемые признаки поступающих запросов, связывающих исследуемые наблюдения x_i со скрытыми общими факторами $f_1, f_2, \dots, f_j, \dots, f_m$.

Величина значения факторной нагрузки объясняется уровнем связи признака запросов с рассматриваемым фактором. Чем больше значение, тем плотнее связь, и чем меньше значение, тем менее выражена связь признака с фактором.

Таблица 1. Матрица нагрузок на признаки запросов сервисного обслуживания и рекламаций**Table 1.** The matrix of loading on the parameters of service requests and complaints

	Наименование продукции/Product name $k = 1$	Тип комплектующего оборудования/type of component equipment $k = 2$	Модель комплектующего оборудования/model of component equipment $k = 3$	Тип инцидента/incident type $k = 4$	Детали инцидента/incident details $k = 5$	Адрес установки/address $k = 6$	Решение по запросу/settlement of request $k = 7$	Дата отгрузки/shipment date $k = 8$	Транспортная компания/transport company $k = 9$	Статус изделия/product status $k = 10$	Дата запроса/CO/request data $k = 11$	Трудоемкость по разрешению запроса/labour input $k = 12 = p$
Фактор/factor f_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}	a_{18}	a_{19}	a_{110}	a_{111}	a_{112}
Фактор/factor f_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{26}	a_{27}	a_{28}	a_{29}	a_{210}	a_{211}	a_{212}
Фактор/factor f_3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}	a_{35}	a_{36}	a_{37}	a_{38}	a_{39}	a_{310}	a_{311}	a_{312}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Фактор/factor f_j	a_{j1}	a_{j2}	a_{j3}	a_{j4}	a_{j5}	a_{j6}	a_{j7}	a_{j8}	a_{j9}	a_{j10}	a_{j11}	a_{j12}
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Фактор/factor f_m	a_{m1}	a_{m2}	a_{m3}	a_{m4}	a_{m5}	a_{m6}	a_{m7}	a_{m8}	a_{m9}	a_{m10}	a_{m11}	a_{m12}

Факторная нагрузка может обозначать прямую и обратную связь признака с выявленным фактором, что показывает знак «+» или «-» перед полученным значением. Анализируя полученную матрицу с рассчитанными значениями исследуемого наблюдения, можно сделать заключение о перечне признаков, которые вносят максимальный вклад в формирование каждого фактора, такие значения обозначают вес признака [16].

Результаты и их обсуждение

Анализ многомерных данных является одним из основных направлений

развития прикладной математики в последние двадцать лет [17]. Задача анализа данных в многомерном пространстве, а не в двух- или трехмерном, потребовала создания узкопрофильных программных реализаций. Рассматривая существующие программные пакеты статистической обработки данных, можно выделить STATISTICA, STATGRAPHICS, STADIA, SPSS. Перечисленные средства имеют штатные возможности автоматизации применения наиболее известных методов статистического анализа, таких как факторный анализ, кластерный анализ, регрессионный анализ, многомерный анализ, и др.

В соответствии с полученной математической моделью исследуемых наблюдений за возникающими инцидентами выпущенной продукции, для решения поставленной задачи факторного анализа большого количества исходных признаков поступивших запросов сервисного обслуживания выполнено программное решение в системе STATISTICA [18].

Данный подход был использован при выполнении работ по повышению эффективности деятельности объединенного сервисного центра предприятия металлообработки и производства многокомпонентной сборочной продукции, производящее устройства банковского самообслуживания, кассовые счетные машины и роботов-манипуляторов.

Рассмотрим данные по поступившим запросам сервисного обслуживания в CRM-систему предприятия за месяц – декабрь 2024 года.

В качестве исходных показателей взяты статистически независимые признаки запросов, что облегчает их физическую интерпретацию. Значения параметров имеют формат текста, целых и дробных чисел, даты. Для проведения статистического анализа значениям признаков надо присвоить цифровые значения. Для этого построим таблицы соответствия для кодирования данных запросов. Установим диапазон значения для каждого признака, исходя из физической интерпретации признаков:

- наименование продукции (данному показателю были присвоены цифровые значения от 1 до 40);

- тип комплектующего оборудования (от 1 до 24);

- модель комплектующего оборудования (от 1 до 250);

- тип инцидента или дефекта выпущенной продукции (от 1 до 15);

- детали инцидента или дефекта выпущенной продукции (от 1 до 100);

- адрес установки (от 1 до 90);

- решение по запросу (от 1 до 30);

- дата отгрузки изделия клиенту (данному показателю были присвоены фактические значения даты отгрузки изделия клиенту в формате даты ДД.ММ.ГГГГ);

- транспортная компания (от 1 до 10);

- статус изделия (от 1 до 3 в зависимости от условий обслуживания данного устройства);

- дата запроса сервисного обслуживания (данному показателю были присвоены фактические значения даты поступления запроса сервисного обслуживания в CRM-систему в формате даты ДД.ММ.ГГГГ);

- трудоемкость запроса сервисного обслуживания (данному показателю были присвоены фактические временные значения трудозатрат, потраченных на разрешения данного обращения в часах – может принимать не целое значение).

При построении матрицы нагрузок общих факторов, максимальное количество факторов соответствует количеству признаков запросов сервисного обслуживания предприятия. С увеличением числа факторов существенно возрастают трудности их физической интерпретации. Для рассматриваемых на-

блюдений получено 12 факторов. Определим количество общих факторов, которые следует оставить для проведения дальнейшего анализа. Для этого применим факторный анализ методом выделения главных компонент.

На рис. 1 представлены результаты расчетов численных значений полученных факторных нагрузок в системе

STATISTICA, являющиеся значением коэффициента корреляции каждой из переменных с каждым из выявленных факторов.

Значения, близкие к 0, не несут смысловой нагрузки при дальнейшем анализе, такие показатели можно игнорировать при рассмотрении связи с конкретным фактором.

Variable	Factor Loadings (Unrotated) (Spreadsheet1.sta) Extraction: Principal components (Marked loadings are > ,700000)			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Наим	-0,348113	-0,540842	0,332792	-0,265655
Тип компл	0,784982	-0,539344	0,053880	-0,082098
Модель компл	0,791453	-0,525865	0,046031	-0,081152
Тип инц	-0,382316	0,076461	-0,312519	-0,181894
Детали инц	-0,054027	0,597477	0,071341	0,427413
Адрес	-0,221895	-0,008092	0,161085	-0,809354
Решение	-0,338673	-0,484686	0,297202	0,364420
Дата отгр	0,626647	0,527760	0,294704	-0,250800
Тр комп	0,004352	-0,135188	0,720054	0,379581
Статус	-0,388283	-0,533240	-0,596943	0,208045
Дата запр	-0,618528	-0,039698	0,495036	-0,025341
Трудоем	-0,522282	0,028469	0,106270	-0,295226
Expl. Var	2,875623	2,041284	1,550831	1,425587
Prp. Totl	0,239635	0,170107	0,129236	0,118799

Рис. 1. Факторные нагрузки без вращения

Fig.1. Factor Loading (Unrotated)

Значение факторной нагрузки, большее 0,7, показывает, что данный признак тесно связан с рассматриваемым фактором. Чем теснее связь данного признака с рассматриваемым фактором, тем выше значение факторной нагрузки.

При проведении анализа рассчитанных в системе STATISTICA факторных нагрузок выявлены сложности с интерпретацией 2-ого фактора. Для таких ситуаций в исследуемой литературе

по проведению факторного анализа с помощью программных средств рекомендовано прибегнуть к повороту осей, с целью получения решения, которое можно интерпретировать в исследуемой предметной области. Проведя эксперимент с применением различных поворотов оси для нормализованных и исходных (ненормализованных) факторов: Varimax (Варимакс), Biquartimax (Биквартимакс), Quartimax (Квартимакс) и

Equamax (Эквимакс) получим схожие значения (в пределах изменения 0,02) по каждому фактору. На рис. 2 представлен результат вращения исходных факторов поворотом оси Varimax (Варимакс).

Практическое применение выполнено в виде программного модуля аналитического блока автоматизированного интеллектуального анализа данных для интеграции с эксплуатируемой CRM-системой предприятия.

Factor Loadings (Varimax raw) (Spreadsheet1.sta)				
Extraction: Principal components				
(Marked loadings are > ,700000)				
Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Наим	0,086145	0,291809	0,429387	-0,563977
Тип_компл	0,954683	-0,070692	0,010657	0,014205
Модель_компл	0,951296	-0,078519	-0,001391	0,022463
Тип_инц	-0,335195	0,250421	-0,267911	-0,189531
Детали_инц	-0,445059	-0,301926	0,041998	0,506625
Адрес	-0,098003	-0,168656	-0,129536	-0,821873
Решение	0,004862	0,423150	0,625566	0,018398
Дата_отгр	0,192213	-0,867331	-0,170579	0,051593
Тр_компл	0,063106	-0,188600	0,788587	0,139402
Статус	-0,002046	0,899923	-0,149259	0,050889
Дата_запр	-0,452323	0,066163	0,554702	-0,336434
Трудоем	-0,400571	0,107382	0,082610	-0,439577
Expl.Var	2,549851	2,071289	1,653904	1,618281
Prp.Totl	0,212488	0,172607	0,137825	0,134857

Рис. 2. Факторные нагрузки с применением вращения

Fig. 2. Factor Loading (Varimax raw)

Для интерпретации результатов необходимо воспользоваться методом экспертного анализа специалиста, погруженного в специфику исследуемого предприятия, и рассмотреть признаки с наибольшей корреляцией, обозначенные на рис. 1 и 2 красным цветом. Интерпретация факторов представляет собой многоэтапный процесс. Далее приведен пример результатов интерпретации 1-го фактора.

Первый фактор представляет собой фактор влияния производителя комплектующего оборудования на частоту возникновения запросов сервисного обслуживания.

В качестве управленческого решения инициировано изменение технологического процесса комплектации выпускаемой продукции устройствами, более устойчивыми в эксплуатации и сужение вариативности модельного ряда комплектующего оборудования.

Выводы

Физическая интерпретация, предоставляющая доказательное объяснение и расшифровку полученных значений, позволяет установить зависимости с процессами на этапах ЖЦИ и принять меры по корректировке и совершенствованию су-

ществующих процессов. Интерпретация полученных данных позволяет прогнозировать дальнейшее развитие ситуации с высокой долей достоверности. Проведенное исследование было выполнено с применением системы STATISTICA, позволяющее реализовать данные математического аппарата и выполнить визуализацию и документирование результатов, характеризующих процессы сервисного обслуживания предприятия и установить их взаимосвязи с производственными процессами.

Разработанная математическая модель анализа данных запросов сервисного обслуживания позволяет выделить ключевые скрытые характеристики поступающих запросов, установить зависимости с производственными процессами и осознанно влиять на эффективность этих процессов

С увеличением объема анализируемой информации происходит корректировка результатов анализа, уточнение и изменение структуры преобладающих факторов, что обеспечивает динамический контроль и постоянство совершенствования процессов в перспективе. Применяемая методика факторного анализа позволяет обнаружить искажение корреляционных связей между параметрами значительно раньше, чем изменение одного параметра. Таким образом можно обнаружить возникновение нарушений производственных процессов (снижение эффективности процессов) на ранней стадии, которое часто невозможно заме-

тить путем непосредственного наблюдения за признаками объекта. Чтобы применять факторный анализ в исследованиях предприятия достаточно организовать процедуру накопления и хранения массивов данных за продолжительный период, что полностью обеспечивает CRM-система при работе с запросами пользователей выпускаемой продукции [19, 20].

В исследованиях Буреевой Н.Н. лаконично формализована основная идея факторного анализа:

«- Сущность вещей заключена в их простых и многообразных проявлениях, которые могут быть объяснены с помощью комбинации нескольких основных факторов.

- Общая сущность наблюдаемых вещей постигается через бесконечное приближение.».

Взяв за основу вышеприведенные утверждения, было выполнено исследование процесса анализа данных этапа постпроизводственного сопровождения продукции методом факторного анализа. Получена модель взаимосвязи возникающих инцидентов и дефектов продукции, которыми в системе являются запросы клиентов, и причин их возникновения. Взаимосвязи с производственными процессами позволяют выявить источник возникновения появившихся событий, что имеет большую ценность для теоретического исследования и для дальнейшего практического применения при оптимизации производственных процессов предприятия.

Список литературы

1. Управление устойчивым развитием промышленности в условиях цифровизации / В.Н. Андреев, В.В. Баранов, А.А. Бурдина, С.В. Лукина, Е.Д. Коршунова, А.А. Око-ракова, Е.Б. Фролов. М.: Янус-К, 2022. 119 с.
2. Крючкова Е.В., Можаровская А.А., Тохунц Н.Б. Реструктуризация предприятия. М.: Янус-К, 2023. 120 с.
3. Колошкина И.Е., Капитанов А.В., Феофанов А.Н. Эффективность применения автоматизированной интеллектуальной системы для формирования технологической документации // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2024. №1(193). С. 50-57.
4. Мешков В.Г. Определение взаимосвязей между процессами в условиях автоматизации производственных систем предприятия // Вестник МГТУ "Станкин". 2023. № 2(65). С. 105-109. https://doi.org/10.47617/2072-3172_2023_2_105
5. Egorov S., Kapitanov A., Kozlova A. Application problems of process capability evaluation methods in modern quality assurance systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019, ICMTME 2019, Sevastopol, 09-13 sept. 2019. Sevastopol: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 033054. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/709/3/033054>
6. Быкова А.В., Капитанов А.В. Принципы взаимодействия автоматизированной системы взаимоотношений с клиентами и АС предприятия на различных этапах жизненного цикла продукции // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2023. №1 (64). С.15-21
7. Быкова А.В., Капитанов А.В. Анализ CRM-систем и формирование структуры архитектурного решения автоматизированной CRM-системы для машиностроительного производства // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2024. №1 (68). С.129-137
8. Bykova A.V., Pozdnyak Y. Algorithmization of Automation and Service Management Processes of an Industrial Enterprise // Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (QM&TIS&IT), 2024. P.155-159.
9. Корочкина С.В., Долженкова А.В. Оптимизация бизнес-процесса «Управление рекламациями» с целью повышения удовлетворенности клиентов // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. №6. С.247-252.
10. Быкова А.В., Бекмешов А.Ю. Формализация бизнес-процессов предприятия при моделировании автоматизированной системы управления взаимоотношениями с клиентами // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024 № 1 (23). С. 33-41. <https://doi.org/10.30987/2658-6436-2024-1-33-41>
11. Бабаев Р.Н., Бессчётнова Н.Н., Бессчётнов В.П. Многопараметрический анализ пигментного состава листового аппарата представителей рода *Betula L.* // Вестник По-

волжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2023. №3 (59). С.42-54. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2023.3.42>

12. Гончаренко С.Н., Лачихина А.Б. Мониторинг инцидентов безопасности геоинформационной системы управления и контроля деятельности промышленного предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. №3. С. 108-116. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_3_0_108

13. Multivariate framework for introspecting the motivational factors for satisfaction in HR profession / M.R. Chaki, Guha Banhi, Biswas Sanjib, et al. // Vojnotehnički glasnik. Military technical courier. 2024. Vol. 72, is. 2. P. 651-675. <https://doi.org/10.5937/vojtehg72-48661>

14. Шнякина Е.А., Костин В.Н. Разработка алгоритмического обеспечения принятия решений по идентификации типовых нарушителей категорируемым объектам // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2023. №3. С. 72-82. <https://doi.org/10.21685/2072-3059-2023-3-5>

15. Гаврильев Э.И., Авдеенко Т.В. Структурная модель оценки квалификации ИТ-специалистов на основе интеллектуального анализа данных информационных систем // Вестник СибГУТИ. 2023. Т. 17, №4. С. 15-33. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2023-17-4-15-33>.

16. Афонин П.Н., Афонин Д.Н. Статистический анализ с применением современных программных средств. СПб.: ИЦ «Интермедия», 2017. 100 с.

17. Козлова А.В. Разработка алгоритма цифровой обработки данных с целью осуществления анализа полученных результатов, прогнозирования качества и их последующее внедрение в другие задачи с необходимой адаптацией // Вестник МГТУ Станкин. 2021. №1(56). С. 59-63.

18. Исследование показателей эффективности информационных систем с помощью программы STATISTICA / Е.М. Баранова, А.Н. Баранов, С.Ю. Борзенкова, Н.В. Кулешова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. Вып. 10. С. 199-205. <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2022-10-199-205>

19. Raiko D., Abdunurova A. Defining a selection procedure of CRM systems for the information-analytical support to the marketing activities at an enterprise // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2024. Is. 13 (127). P. 41-58. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298301>

20. Быкова А.В., Карлова Т.В. Выявление оптимальных параметров для оценки эффективности внедрения на предприятии системы управления взаимоотношениями с клиентами // Качество. Инновации. Образование. 2023. №3 (185). С. 25-32.

References

1. Andreev V.N., Baranov V.V., Burdina A.A., Lukina S.V., Korshunova E.D., Okorakova A.A., Frolov E.B. Managing the sustainable development of industry in the context of digitalization. Moscow: Janus-K; 2022. 119 p. (In Russ.)

2. Kryuchkova E.V., Mozharovskaya A.A., Tohunc N.B.. Enterprise restructuring. Moscow: Yanus-K; 2023. 120 p. (In Russ.).
3. Koloshkina I.E., Kapitanov A.V., Feofanov A.N. The effectiveness of the automated intelligent system for the formation of technological documentation. *Informatsionnye tekhnologii v proektirovanii i proizvodstve = Information technologies in design and production*. 2024; (1): 50-57 (In Russ.)
4. Meshkov V.G. Identification of interrelations between processes in the context of automation of production systems of the enterprise. *Vestnik MGTU "Stankin" = Bulletin of MSTU "Stankin"*. 2023; (2): 105-109. (In Russ.). https://doi.org/10.47617/2072-3172_2023_2_105
5. Egorov S., Kapitanov A., Kozlova A. Application problems of process capability evaluation methods in modern quality assurance systems. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019, ICMTME 2019*. Sevastopol: Institute of Physics Publishing; 2020. 033054 p. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/709/3/033054>
6. Bykova A.V., Kapitanov A.V. Principles of interaction of the automated customer relationship system and the company's automated control system at various stages of the product lifecycle. *Vestnik MGTU «STANKIN» = Bulletin of MSTU "Stankin"*. 2023; (1): 15-21. (In Russ.)
7. Bykova A.V., Kapitanov A.V. Analysis of CRM systems and formation of the architectural solution structure of an automated CRM system for machine-building production. *Vestnik MGTU «STANKIN» = Bulletin of MSTU "Stankin"*. 2024; (1): 129-137. (In Russ.).
8. Bykova A.V., Pozdnyak Y. Algorithmization of Automation and Service Management Processes of an Industrial Enterprise. In: *Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (QM&TIS&IT)*, 2024. P.155-159.
9. Korochkina S.V., Doljenkova A.V. Optimization of the Complaints Management business process in order to increase customer satisfaction. *Vestnik Altajskoj Akademii Jekonomiki i Prava = Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*. 2020; (6): 247-252. (In Russ.)
10. Bykova A.V., Bekmeshov A.Ju. Formalization of business processes of an enterprise when modeling an automated customer relationship management system. *Avtomatizatsiya i modelirovanie v proektirovaniii i upravlenii = Automation and Modeling in Design and Management*. 2024; (1): 33-41. (In Russ.). <https://doi.org/10.30987/2658-6436-2024-1-33-41>
11. Babaev R.N., Besschyotnova N.N., Besschyotnov V.P. A multiparametric analysis of the pigment composition of the leaf apparatus of representatives of the genus *Betula* L. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie = Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Les. Ecology. Environmental management*. 2023; (3): 42-54. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2023.3.42>
12. Goncharenko S.N., Lachihina A.B. Monitoring of security incidents of the geoinformation management and control system of an industrial enterprise. *Gornyi informacionno-analiticheskij byulleten = Mining Information and Analytical Bulletin*. 2022; (3): 108-116. (In Russ.). https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_3_0_108

13. Chaki M.R., Guha Banhi, Biswas Sanjib, et al. Multivariate framework for introspecting the motivational factors for satisfaction in HR profession. *Vojnotehnički glasnik. Military technical courier*. 2024. 72(2): 651-675. <https://doi.org/10.5937/vojtechg72-48661>
14. Shnyakina E.A., Kostin V.N. Development of algorithmic support for decision-making on identification of typical violators of categorized objects. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Povolzhskij region. Tekhnicheskie nauki = Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. The Volga region. Technical sciences*. 2023; (3): 72-82. (In Russ.). <https://doi.org/10.21685/2072-3059-2023-3-5>
15. Gavriliev E.I., Avdeenko T.V. A structural model for assessing the qualifications of IT specialists based on data mining of information systems. *Vestnik SibGUTI = Bulletin of SibGUT*. 2023; 17(4): 15-33. (In Russ.). <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2023-17-4-15-33>
16. Afonin P.N., Afonin D.N. Statistical analysis using modern software tools. St. Petersburg: IC "Intermedia"; 2017. 100 p. (In Russ.)
17. Kozlova A.V. Development of an algorithm for digital data processing in order to analyze the results obtained, predict quality and their subsequent implementation in other tasks with the necessary adaptation. *Vestnik MGTU Stankin = Bulletin of MSTU Stankin*. 2021; (1): 59-63 (In Russ.).
18. Baranova E.M., Baranov A.N., Borzenkova S.Yu., Kuleshova N.V. Research of information system performance indicators using the STATISTICA program. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = Proceedings of Tula State University. Technical science*. 2022; (10): 199-205. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2022-10-199-205>
19. Raiko D., Abdunurova A. Defining a selection procedure of CRM systems for the information-analytical support to the marketing activities at an enterprise. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024; (13): 41-58. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298301>
20. Bykova A.V., Karlova T.V. Identification of optimal parameters for evaluating the effectiveness of the company's implementation of a customer relationship management system. *Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie = Quality. Innovations. Education*. 2023;(3): 25-32 (In Russ.).

Информация об авторе / Information about the Author

Быкова Анна Владимировна, аспирант кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления», Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва, Российская Федерация, e-mail: balabolik@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0009-0004-6865-231X>

Anna V. Bykova, Post-Graduate Student, sub-department «Automated information processing and management systems», Moscow State University of Technology «STANKIN», Moscow, Russian Federation, e-mail: balabolik@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0009-0004-6865-231X>