



УДК 621.3.019.32

DOI: 10.31799/2007-5687-2020-4-26-34

ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПОСТАВОК ЗИП ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ИСПРАВНОСТИ ОБЪЕКТОВ АВИОНИКИ

А. В. Гурьянов

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В статье раскрыты вопросы замены запасных исправных приборов (ЗИП) объектов авионики для воздушных судов, рассматриваются вопросы организации и построения цепей поставок, рассматриваются особенности функционирования объектов авионики и их ремонта. Обосновывается необходимость включения в контур принятия решений по комплектации и запуска запасных приборов блоки моделирования различных сценариев цепей поставок. Особое внимание уделено классификация методов расчета ЗИП, основанные на теории процессов восстановления. Приводятся графики функции по возрастанию функционирования объектов авионики, графики надёжности объектов и графики прогнозирования количества поставок. В статье рассматриваются возможности организации поставок и их уникальные особенности. Доказывается необходимость моделирования различных вариантов поставки и ограниченность данных, полученных на основе нормативных параметров, к которым относятся технические надёжностей параметры конкретных приборов.

Ключевые слова: ЗИП, авионика, прибор, цепь поставок, надёжность авиационного прибора.

Для цитирования:

Гурьянов А. В. Исследование организации поставок ЗИП для поддержания исправности объектов авионики // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №4(26), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2020 – с. 26-34. РИНЦ.

RESEARCH OF ORGANIZATION OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT TO MAINTAIN THE FUNCTIONALITY OF AVIONIC EQUIPMENT

A. V. Guryanov

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The article reveals the issues of replacing spare serviceable devices (spare parts) for avionics objects for aircraft, discusses the organization and construction of supply chains, discusses the features of the functioning of avionics objects and their repair. The necessity of including blocks for modeling various scenarios of supply chains into the decision-making loop for the assembly and launch of spare devices is substantiated. Particular attention is paid to the classification of methods for calculating spare parts, based on the theory of restoration processes. The graphs of the function of increasing the functioning of avionics objects, graphs of the reliability of objects and graphs of forecasting the number of deliveries are given. The article discusses the possibilities of organizing supplies and their unique features. The necessity of modeling various delivery options and the limited data obtained on the basis of standard parameters, which include the technical reliability of the parameters of specific devices, are proved.

Key words: SPTA, avionics, instrument, supply chain, aviation instrument reliability.

For citation:

Guryanov A. V. Research of organization of supply chain management to maintain the functionality of avionic equipment // System analysis and logistics.: №4(26), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2020 – p. 26-34.

Введение

В последнее десятилетие отечественная авиация переживает период активного обновления парка воздушных средств, период активной реструктуризации, чтобы максимально ликвидировать отставание от конкурентов. Основными направлениями являются гражданское авиастроение, авиационное двигателестроение и создание перспективно новых систем авиационного приборостроения (авионики). Параллельно наблюдается процесс обновления аэропортов России, расширение маршрутной сети. Сегодня по всем крупным аэропортам России происходит значительное увеличение объемов пассажирских перевозок как на внутренних направлениях, так и на внешних. Данная тенденция продолжит идти на увеличение, что выступает дополнительным



стимулом в развитии новых моделей воздушных судов. Для обеспечения задач выпуска новых воздушных судов необходим системный подход, который объединит как научно-исследовательские институты и проектные центры, так и организации производителей. При этом необходимо уделять больше внимание задачам управления цепями поставок и вопросам организации внутрипроизводственной логистики.

Само понятие «авионика» начало использоваться в западных странах с 1970 года [1]. Начиная с этого времени электроника достигла современного высокого технического уровня, что позволило, на тот момент, использовать электронные системы на бортах летательных аппаратов. В эти годы были созданы первые бортовые компьютеры для самолетов. Кроме этого, начали использовать большое количество автоматических систем контроля и управления. Сегодня базовые модели построения объектов авионики значительно расширились и изменились в сторону многозадачности. Сегодняшние модели воздушных судов напрямую зависима от бортового электронного оборудования. При этом с экономической точки зрения бортовое оборудование занимает немалую часть материальных затрат на изготовление воздушных судов.

Сегодня увеличение количества и сложности функций бортового оборудования явилось причиной перехода от отдельных приборов и устройств к комплексу бортового оборудования, основу которого составили бортовые вычислительные системы. Основные этапы эволюции представлены на рисунке 1.

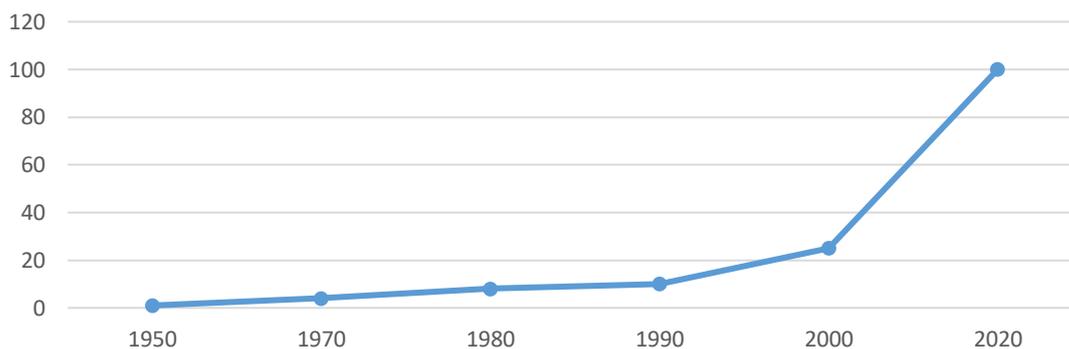


Рис. 1. Функционал управления и насыщения объектами авионики воздушные суда

Кроме задач разработки объектов авионики крайне важной задачей является задача построения эффективных цепей поставок как самих объектов авионики, так и их комплектующих. Запасное имущество и принадлежности (ЗИП [2, 3, 4]) как ресурс обеспечения надежности занимает значительное место в практике проектирования и эксплуатации технических изделий. Теория надежности рассматривает восстановление работоспособности путем ремонта. Ремонт как способ восстановления работоспособности на самом деле не является универсальным способом по ряду причин. Известно достаточно большое количество различных по масштабам и назначению систем, в том числе систем управления, для которых не удаётся организовать восстановление работоспособности путем ремонта.

Во-первых, далеко не всегда на месте эксплуатации может быть развернута ремонтная база. Это относится не только к системам, имеющим серьезные ограничения по весу и габаритам, например к бортовым системам, но и ко многим системам военного назначения, системам управления на транспорте, системам, эксплуатируемым в малонаселенных труднодоступных регионах страны.

Во-вторых, при современном высокотехнологичном производстве ремонт часто невозможен или экономически нецелесообразен вне крупных хорошо оснащенных специализированных предприятий. Поэтому вопросы организации эффективных цепей поставок являются крайне актуальными. В современных условиях каждому предприятию необходимо точно определять, какое количество ЗИП необходимо изготавливать. В ряде случаев, изготовленные, дорогие объекты



авионики, которые не поступили в работу, на замену, становятся из-за неиспользования, убытками компании.

Модели и методы исследования цепей поставок ЗИП авионики

Все элементы авионики требуют замены или ремонта по двум основным причинам [5]:

- истощение установленного ресурса в летных часах или полетных циклах;
- случайные отказы и поломки.

По данной причине неопределенность потребности в запасных частях заставляет содержать на складах некоторый избыточный страховой запас, позволяющий поддерживать летную годность парка воздушных судов на приемлемом уровне в период исполнения заказа поставки ЗИП. Но в ряде случаев это ведет к омертвлению денежных средств или возврату неиспользованных ЗИП изготовителю. На рисунке 2 представлена схема информационных потоков в логистической системе поставок ЗИП.



Рис. 2. Схема информационных потоков в логистической системе поставок ЗИП объектов авионики

На основании рисунка 2 можно точно определить, что система принятия решений зависит от моделирования различных сценариев и, с позиций системного анализа, представляет структуру с обратной связью, так как требуется операция уточнения [6].

Рассмотрим характеристики выхода авионики из строя. Переход прибора из неработоспособного (неисправного) состояния в работоспособное осуществляется с помощью операции восстановления или ремонта. Переход прибора из предельного состояния в работоспособное осуществляется с помощью ремонта, при котором происходит восстановление



ресурса прибора в целом. По мере роста наработки или с течением времени в состоянии прибора или его отдельных частей наступает предел, после которого использование прибора оказывается нецелесообразным: прибор достиг предельного состояния. Предельным состоянием прибора называется такое состояние, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно, либо восстановление его исправного или работоспособного состояния невозможно.

Как следствие прибор может находиться в следующих состояниях:

- исправном;
- работоспособном;
- неработоспособном;
- предельном.

Ремонт – представляет собой комплекс операций по восстановлению исправности прибора или работоспособности и восстановлению ресурсов прибора и их составных частей. Изделия – составные части авионики. Составные части – приборы и комплексы.

По степени восстановления ресурса ремонт может быть:

- капитальным;
- текущим.

Капитальный ремонт (КР) – ремонт, выполняемый для восстановления исправности и полного или близкого к полному восстановлению прибора с заменой или восстановлением любых его частей. Текущий ремонт (ТР) – ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности прибора и состоящий в замене и (или) восстановлении отдельных частей в соответствии с требованиями эксплуатации.

Ремонт бывает плановый и неплановый.

Плановый ремонт – ремонт, постановка, на которой осуществляется в соответствии с требованиями нормативной технической документации. Неплановый ремонт – ремонт, постановка изделий, на которой осуществляется без предварительного назначения, с целью устранения последствий отказов.

Время наработки определяется в зависимости от оценки коэффициента отказоустойчивости того или иного прибора, ожидаемой интенсивности замен и нормы расхода. «Норма расхода» характеризуют среднеожидаемое количество отказов изделий *i-go* типа за время доставки.

Ремонт авионики возможен в следующих случаях:

1. При обеспечении соответствующим прибором поставки воздушного судна специалист предприятия производит поблочную замену. Необходимое условие: наличие на складе соответствующего прибора и наличие сертифицированного специалиста, выполняющего замену. В данном случае процесс эксплуатации и восстановление комплекса на объекте производится за счет замены отказавшего блока на исправный из ЗИПа. В свою очередь, восстановление количества запасных частей (ЗЧ) в ЗИП происходит за счет пополнения из внешнего источника, например, предприятия-изготовителя со временем доставки.
2. При наличии небольшого эксплуатационного дефекта, не оказывающего влияние на работоспособность прибора ремонт возможен при наличии соответствующих условий для сертифицированного специалиста. Данные условия называются стационарными условиями. Ремонт, выполняемый в специально предназначенных местах, оборудованных стационарными средствами ремонта. При наличии небольшого эксплуатационного дефекта, который оказывает влияние на работоспособность прибора, ремонт необходимо выполнить как приведено выше или на месте при наличии соответствующих комплектующих и наличии соответствующей квалификации специалиста предприятия.

Для руководителей или лиц, принимающих решение, необходима оценка цепи поставки, что требует ввода элементы с обратными связями (рис. 3).

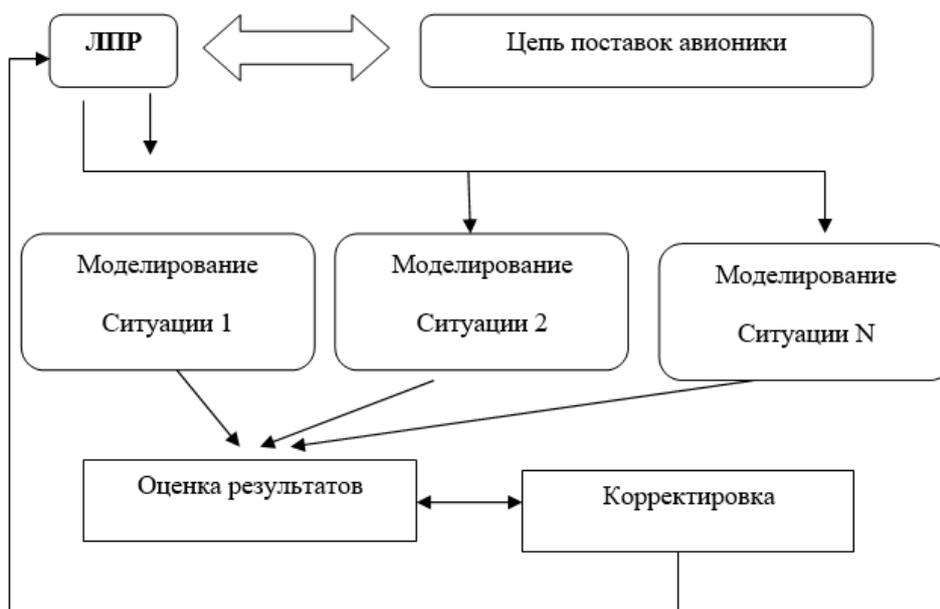


Рис. 3. Общая система принятия с решения с учетом обратной корректирующей связи

При проведении оценки логистических процессов поставок ЗИП для поддержания исправности изделий авионики, находящихся в эксплуатации необходимо рассмотреть следующие аспекты:

1. экономический аспект расчёта оптимальной партии поставки и на его основе построения взаимодействия системы поставки ЗИП;
2. определения количества ЗИП на основе надёжных оценок и формирования последующей новой цепи поставки для каждого договора;
3. ситуация, совмещающая первые два варианта, когда несмотря на формирования заказа ЗИП на основе надёжных параметров эксплуатант увеличивает заказ для формирования у себя страхового запаса ЗИП.

Классификация методов расчета ЗИП авионики

Для лица, принимающего решение, необходимо иметь возможность работы с несколькими методами прогнозирования и на их основе выбрать наилучший вариант поставки ЗИП. Блок-схема методов приведена на рисунке 4.

Необходимо отметить, что для построения достоверной модели расчета количества ЗИП необходимо привлечение дополнительной информации о состоянии парка воздушных судов, информации по интенсивности и условиям эксплуатации, информации об эксплуатации и нормативной информации по техническому обслуживанию. В ряде случаев расчёт может производиться с использованием законов распределения об отказах ЗИП и дополнительно должны быть учтены зависимости о наработках до первого ремонта или технического обслуживания.

Методы расчета базируются на теории восстановления и на практике разделяются на два уровня:

1. методы, основанные на асимптотические формулах, в частности с использованием средних значений наработок ЗИП;
2. методы, основанные на непосредственном использовании потоков отказов ЗИП [5].

Наибольший интерес, с точки зрения расчёта количества ЗИП представляют процессы, сформированные в виде суммы независимых неотрицательных случайных величин – наработок величин до первого отказа (рис. 5) и между последующими отказами.



Рис.4. Классификация методов расчета ЗИП, основанная на теории процессов восстановления

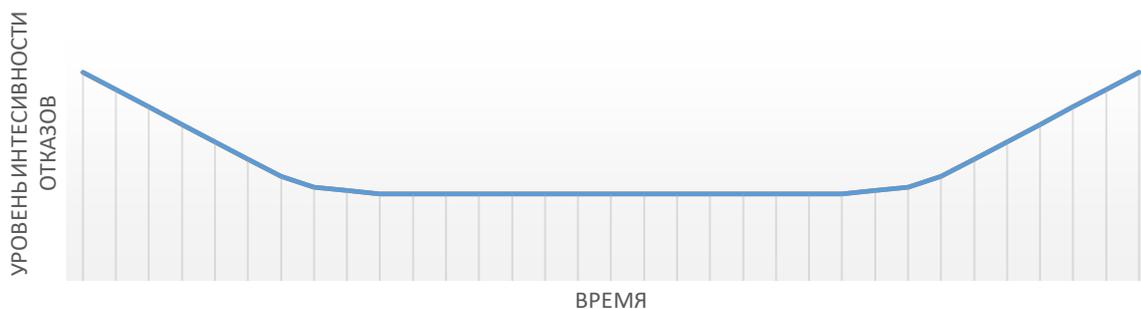


Рис. 5. Распределение вероятности интенсивности отказа объекта авионики

Исследование различных вариантов организации потребности в ЗИП

На сегодняшний день имеется большое число методов и подходов к решению расчета ЗИП [7]. Существуют как нормативные документы ГОСТы, так и различные методики. Данная ситуация объясняется следующими ситуациями:

1. наличие различных сфер применения расчетных методов (проектирование, эксплуатация, ремонт, распределение);
2. использование в расчетах различного аналитического аппарата и различных законов распределения (в частности, теория восстановления, теория надежности, теория прогнозирования);



3. привлечение к исследованию ЗИП различных источников информации (к примеру, вероятностно-статистические модели оценки ресурсов ЗИП; данными по ремонту и возврату и т.д.).

Необходимо отметить, что для принятия достоверного решения по количеству ЗИП необходимо иметь информацию по ЗИП за предшествующие периоды. Наиболее часто для прогноза количества ЗИП используется метод интерполяции, состоящая из трех составляющих и записываемая в виде:

$$y(t) = \bar{y} + v(t) + \varepsilon(t), \quad (1)$$

где $y(t)$ – прогнозные значения временного ряда; \bar{y} - тренд (среднее значение прогноза ЗИП); $v(t)$ – составляющая прогноза (отражающая сезонные колебания); $\varepsilon(t)$ – случайная величина отклонения прогноза.

Методика расчета следующая:

1. на основе значений временного ряда на предпрогнозном периоде с использованием метода наименьших квадратов определяют коэффициенту уравнения тренда \bar{y} . Обычно для описания тренда используют полиному различных порядков, экспоненциальные, временные функции;
2. для исследования сезонной волны значения тренда исключаются из исходного временного ряда. При наличии сезонной волны определяют коэффициенты уравнения, выбранного для аппроксимации $v(t)$;
3. случайные величины отклонения $\varepsilon(t)$ определяются после исключения из временного ряда значений тренда и сезонной волны на предпрогнозном периоде. Как правило, для определения случайной величины используется нормальный закон распределения.

Задавая уравнение сезонной волны в виде

$$v(t) = b_0 + b_1 \cos \omega t + b_2 \sin \omega t \quad (2)$$

получаем расчетную формулу для прогноза ЗИП в виде

$$y(t) = 22 + 0,87t + 3,6 \cos \frac{\pi}{3}(t + 2) + 1,8 \sin \frac{\pi}{3}(t - 5). \quad (3)$$

Прогноз количества ЗИП определяется подстановкой значений времени в исходное уравнение и расчётом полученных значений. Общий график функций на интервале представлен на рисунке 6.

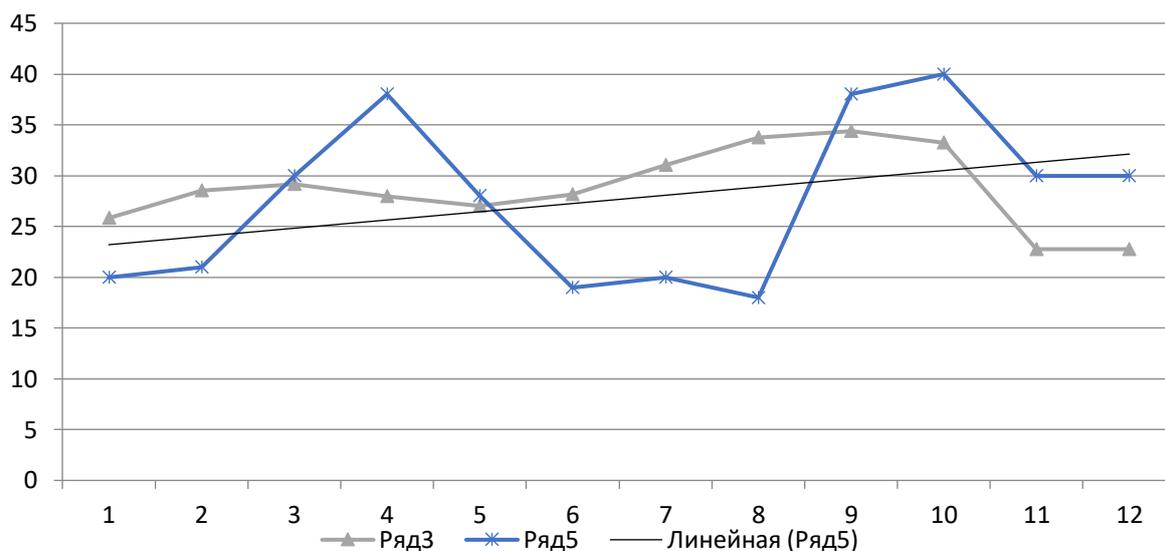


Рис. 6. Прогнозный график ЗИП авионики (на графике 3 – результирующий график потребности ЗИП, 5 – фактический расход ЗИП, линейная аппроксимация)

На рисунке 6 представлены графики фактического расхода ЗИП, график тренда, результирующий график потребности ЗИП. Для повышения точности прогноза, можно использовать дисконтирование и выбор оптимальных значений для тренда.

Необходимо также отметить то, что выбор линии тренда в виде линейной функции не всегда правилен. Так как при реальных поставках ЗИП возникают ситуации простоя в реализации или возникают задержки, которые должны свидетельствовать о наличии убывающего процесса на некотором интервале времени. Но методика такого прогноза количества ЗИП, основанная на экстраполяции, может быть реализована эффективно в виде отдельного модуля программного обеспечения и имеет место быть при задачах краткосрочного прогнозирования.

Заключение

Определение потребности в ЗИП объектов авионики является очень актуальной задачей, так как, с одной стороны, предприятия-изготовители стремятся уменьшить свои расходы. А с другой стороны, необходимо планировать их выпуск с учётом количества эксплуатируемых воздушных судов и особенностей заключенных контрактов. Классические модели систем управления запасами в данном случае работают не в полной мере, так как поставки определяются как плановыми, так и нормативными значениями налётов воздушных судов. Если происходит определённый сбой в работе объекта авионики, то его экстренно необходимо менять, так как воздушное судно будет находиться в простое, тем самым приносить убытки авиакомпания. Поэтому в представленной работе приведены подходы расчета ЗИП, основанные на теории процессов восстановления, и обосновано использование имитационного моделирования как инструментария для прогнозирования потребности в ЗИП. Полученная такими расчётами аналитика позволят скорректировать плановые показатели. Однако при наличии случайных сбоев или сбоев из-за неправильной эксплуатации необходимо использовать модели, учитывающие стохастический характер сбоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

4. *Пославский, О.Ф.* Методы расчета запасных частей / О.Ф. Пославский. М.: Знание, 1977. 48 с.
5. *Рыжиков Ю.И.* Управление запасами / Ю.И. Рыжиков. М.: наука, 1982. – 430 с.



6. *Лукинский В. С., Лукинский В. В., Плетнева Н. Г., Воробьева Н. И., Маевский А. Г.* Управление запасами в цепях поставок (В 2 Ч. ЧАСТЬ 1.) Учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / Рук.: В. С. Лукинский; под общ. ред.: В. С. Лукинский. Ч. 1. М. : Юрайт, 2018. –307 с.
7. ГОСТ РВ 20.39.303-98. Показания надежности ШКАИ.
8. *Кугель Р.В.* Надежность машин массового спроса / Р.В. Кугель. М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
9. *Майоров, Н.Н.* Системный анализ / Н.Н. Майоров, В.А. Фетисов, В.Е. Таратун, В.А. Романек // СПб.:ГУАП, 2016. – 137 с.
10. *Черкесов, Г.Н* Оценка надежности систем с учетом ЗИП / Г.Н. Черкесов, СПб.:БХВ-Петербург, 2012. –480 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Гурьянов Андрей Владимирович

заведующий кафедрой авиационных приборных комплексов и тренажерно-обучающих систем в ОКБ «Электроавтоматика», к.э.н., доцент
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
E-mail: guryanov.elavt@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Guryanov Andrey Vladimirovich

Head of the Department of Aviation Instrument Complexes and Training and Training Systems at OKB "Electroavtomatika", Ph.D., Associate Professor
St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
SUAI, 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: guryanov.elavt@gmail.com