

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт

Кафедра «Автомобильный транспорт и машиностроение»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

А.Н. Борисенко  
подпись инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

код и наименование специальности

Совершенствование регламента проведения работ по техническому  
обслуживанию автосамосвалов БелАЗ с учетом показателей  
эксплуатационной надежности на ОАО «Черногорский РМЗ», г. Черногорск.

тема

### Пояснительная записка

Руководитель

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

должность, ученая степень

А.В. Олейников

инициалы, фамилия

Выпускник

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.О. Дедюхин

инициалы, фамилия

Абакан 2019 г.

Продолжение титульного листа БР по теме «Совершенствование регламента проведения работ по техническому обслуживанию автосамосвалов БелАЗ с учетом показателей эксплуатационной надежности на ОАО «Черногорский РМЗ», г. Черногорск»

Консультанты по разделам:

Исследовательская часть

наименование раздела

подпись, дата

A.В. Олейников

инициалы, фамилия

Оценка показателей надежности

наименование раздела

подпись, дата

A.В. Олейников

инициалы, фамилия

Совершенствование существующей системы технического обслуживания и ремонта

наименование раздела

подпись, дата

A.В. Олейников

инициалы, фамилия

Заключение на иностранном языке

подпись, дата

Н.В. Чезыбаева

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

подпись, дата

A.В. Олейников

инициалы, фамилия

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Хакасский технический институт

Кафедра «Автомобильный транспорт и машиностроение»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

А.Н. Борисенко

подпись

инициалы, фамилия

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ  
в форме бакалаврской работы**

бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы, магистерской диссертации

Студенту Дедюхину Артёму Олеговичу

фамилия, имя, отчество

Группа 65–1 Направление (специальность) 23.03.03

номер

код

Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

наименование

Тема выпускной квалификационной работы «Совершенствование регламента проведения работ по техническому обслуживанию автосамосвалов БелАЗ с учетом показателей эксплуатационной надежности на ОАО «Черногорский РМЗ», г. Черногорск»

Утверждена приказом по университету №259 от 11.04.2019 г.

Руководитель ВКР А.В. Олейников, к.т.н., доцент кафедры АТиМ

инициалы, фамилия, должность, ученое звание, место работы

Исходные данные для ВКР Наработки на отказ, регламенты технического обслуживания, периодичности технического обслуживания.

Перечень разделов ВКР Исследовательская часть. Оценка и анализ показателей надежности. Совершенствование существующей системы технического обслуживания и ремонта.

Перечень графического материала 1 Лист – Исходные данные расчета показателей надежности. 2 Лист – Точечные показатели надежности. 3 Лист – Показатели надежности. 4 Лист – Интервальные показатели надежности. 5 Лист – График профилактики. 6 Лист – Паспорт профилактики.

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_

подпись

А.В. Олейников

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_

подпись

А.О. Дедюхин

инициалы и фамилия студента

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## **РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа по теме «Совершенствование регламента проведения работ по техническому обслуживанию автосамосвалов БелАЗ с учетом показателей эксплуатационной надежности на ОАО «Черногорский РМЗ», г. Черногорск» содержит 73 страницы текстового документа, 14 использованных источников, 7 листов графического материала.

### **АНАЛИЗ, ОТКАЗ, НЕИСПРАВНОСТЬ, ПОКАЗАТЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ, ОЦЕНКА, РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ И НОМЕНКЛАТУРЫ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ РАБОТ, РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОРРЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМЫ ПРОФИЛАКТИКИ**

Объект исследования – автомобили БелАЗ 75131 и БелАЗ 75306.

Цель исследования – совершенствование регламента проведения работ по техническому обслуживанию автосамосвалов БелАЗ 75131 и БелАЗ 75306.

Задачи исследования:

- оценка эффективности существующего регламента проведения работ по техническому обслуживанию автосамосвалов БелАЗ 75131 и БелАЗ 75306 на ОАО «Черногорский РМЗ»;
- формирование рекомендаций по корректированию системы профилактики (системы ТО и Р) автосамосвалов БелАЗ с учетом полученных показателей эксплуатационной надежности.

В результате исследования собран статистический материал по отказам и неисправностям элементов автомобилей БелАЗ 75131 и БелАЗ 75306, проведена оценка показателей надежности по каждому элементу, определены оптимальные периодичности и составлена номенклатура технических воздействий по элементам.

В итоге были разработаны рекомендаций по корректированию системы профилактики автосамосвалов БелАЗ в виде ступеней профилактики.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Исследовательская часть .....	8
1.1 Общие сведения о предприятии .....	8
1.2 Политика ООО «СУЭК-ХАКАСИЯ» в области повышения эффективности производства.....	9
1.3 Политика ООО «СУЭК-ХАКАСИЯ» в области промышленной безопасности и охраны труда.....	10
1.4 Политика ООО «СУЭК –ХАКАСИЯ» в области охраны окружающей среды .....	12
1.5 Сбор и анализ статистических данных по отказам и неисправностям автосамосвалов БЕЛАЗ.....	14
2 Оценка точечных и интервальных показателей эксплуатационной надежности автосамосвалов БЕЛАЗ .....	21
2.1 Порядок обработки и анализа статистической информации.....	21
2.2 Расчет показателей надежности для а/с БелАЗ 75131 .....	25
2.3 Расчет показателей надежности для а/с БелАЗ 75306.....	39
3 Разработка режимов и номенклатуры профилактических работ автосамосвалов БЕЛАЗ с учетом полученных показателей эксплуатационной надежности .....	59
3.1 Расчет режимов и номенклатуры для а/с БелАЗ 75131 .....	59
3.2 Расчет режимов и номенклатуры для а/с БелАЗ 75306.....	60
3.3 Разработка рекомендаций по корректированию системы профилактики (системы ТО и Р) автосамосвалов БЕЛАЗ с учетом полученных показателей эксплуатационной надежности .....	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	70
ЗАКЛЮЧЕНИЕ на иностранном языке .....	Ошибка! Закладка не определена.
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	72

## **ВВЕДЕНИЕ**

АО «Черногорский РМЗ» основан в 1927 году. Первоначально это были ремонтно-механические мастерские, состоящие из литейного и механического участков, расположенных в зданиях барабанного типа.

Основное развитие ЦЭММ происходило в 1960-1980 г.г. В 1983 г. ЦЭММ переименованы в Черногорский «Ремонтно-механический завод», в июле 1998 г. завод преобразован в АО «Черногорский РМЗ».

С апреля 2003 года АО «Черногорский РМЗ» работает в составе АО «СУЭК». Основной задачей завода было и остается в настоящее время ремонт горной техники. Одно из предприятий на котором осуществляется обслуживание и ремонт горной техники – разрез «Черногорский».

Разрез «Черногорский» осуществляет разработку открытым способом Черногорского каменноугольного месторождения, расположенного в Усть-Абаканском районе. Центральная часть месторождения находится в 23 км на северо-запад от г. Абакана. Горные работы производятся на разрезе «Черногорский» и участке открытых горных работ «Абаканский».

Разрез «Черногорский» «СУЭК-Хакасия» - самое крупное по объемам добычи предприятие угольной отрасли Республики Хакасия.

Датой рождения разреза «Черногорский» принято считать 1959 год. Разрез был сдан в эксплуатацию с годовой добычей в 27 тысяч тонн.

Коллектив разреза на протяжении последних лет успешно справляется с выполнением производственных задач, уже в 2010 году преодолен пятимиллионный рубеж, добыто 5231 тыс. тонн горной массы, проведено вскрышных работ в объеме 22600 тыс. куб. м.

В 2016 год преодолен 7-миллионный рубеж добычи, итог года - 7039 тыс. тонн угольной массы, проведено вскрышных работ - 49182,6 тыс. куб. м. В 2017 году коллектив разреза «Черногорский» выдал на-гора 7,7 млн тонн угля, что почти на 500 тыс тонн больше, чем годом ранее.

## **1 Исследовательская часть**

### **1.1 Общие сведения о предприятии**

**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ЧЕРНОГОРСКИЙ РМЗ».**

Сведения о предприятии приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Сведения о предприятии

Наименование	ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ЧЕРНОГОРСКИЙ РМЗ»	
Реквизиты предприятия	Почтовые	Платежные
	Хакасия Респ, г. Черногорск, ул. Советская, д26, 655162	ИНН 1903002561 КПП 190301001 ОГРН 1021900698930 ОКПО 05775987

Телефоны: +7 (390) 315-53-01; Факс: +7(39031)5-58-76.

E-mail: [Suek-Khakasiya@suek.ru](mailto:Suek-Khakasiya@suek.ru)

Генеральный директор Килин Алексей Богданович.

ОАО «Черногорский РМЗ» осуществляет ремонт горной техники в рамках деятельности АО «СУЭК» - ведущей российской топливно-энергетической компании, крупнейшей в стране и одного из ведущих в мире поставщиков угля.

Календарный фонд времени составляет 365 дней.

Генеральный план предприятия является конфиденциальной информацией и распространению не подлежит.

## 1.2 Политика ООО «СУЭК-ХАКАСИЯ» в области повышения эффективности производства

ООО «СУЭК-Хакасия» сегодня - ведущая топливная компания в Хакасии, крупнейший в регионе поставщик угля.

Лидерские позиции обязывают соответствовать лучшим мировым стандартам - и в надежности построения бизнеса и отношений с клиентами, и в высоком уровне корпоративной системы управления и ответственности перед обществом.

ООО «СУЭК-Хакасия» в полной мере осознает ответственность за свою деятельность перед обществом, потребителями, бизнес-партнерами и своими сотрудниками. Поэтому в числе важнейших приоритетов работы компании - повышение уровня эффективности производства и новое качество трудовых отношений.

Вне зависимости от направления поставок, будь то российский или международный рынок, основной принцип ООО «СУЭК-Хакасия» неизменен - быть для наших клиентов надежным поставщиком, обеспечивающим строгое исполнение контрактных обязательств вопреки любым колебаниям рыночной среды.

По показателям производительности, снижения затрат ООО «СУЭК-Хакасия» занимает сегодня одни из лучших позиций в отрасли. Задачами первостепенной важности для нас являются решения вопросов логистических ограничений и повышения качества поставляемого топлива.

Цель ООО «СУЭК-Хакасия» - повышение эффективности производства.

Задачи ООО «СУЭК-Хакасия»:

1. Увеличение объемов добычи, переработки и реализации угольной продукции;
2. Повышение уровня производительности труда;
3. Увеличение уровня удовлетворенности и лояльности потребителей угольной продукции.

Принципы выполнения задач в области повышение эффективности производства.

Реализуя идею формирования одной из ведущих топливно-энергетических компаний, мы прекрасно понимаем, что достичь этой цели можно только в случае соответствия уровня корпоративного управления требованиям международных стандартов. Это позволит повысить открытость компании, ее информационную прозрачность, а значит и уровень доверия акционеров, инвесторов и партнеров.

Мы оснащаем Компанию надежным и технологичным оборудованием, внедряем более эффективные технологии, осваиваем новые рынки - как внутренние, так и внешние. Мы вырабатываем новые подходы к социальной ответственности и ориентируемся в своей деятельности на лучшие стандарты корпоративного управления.

**Приоритетность задач обеспечения эффективности производства при решении производственных задач.**

**Вовлеченность.** Каждый работник, от рабочего до генерального директора, мотивирован на повышение эффективности в зоне своей ответственности.

**Компетентность и ответственность персонала.** Мы проводим обучение и повышение квалификации работников с целью обеспечения высокого уровня профессионализма. Мы требуем от ИТР и руководителей всех уровней управления создания таких условий труда, чтобы персонал на рабочих местах работал эффективно. Руководство Компании, в свою очередь, стремится создать и поддерживать условия для приобретения такой квалификации.

**Системность.** Мы планируем производство работ на основе оценки и управления рисками и построение системы, направленной на постоянное совершенствование.

**Постоянное совершенствование.** Мы систематически проводим анализ достигнутых результатов, выявляем причины несоответствий и нарушений. Мы ведем мониторинг и анализ новых технологий и методов работы, направленных на повышение эффективности, осваиваем лучшие из них.

Руководство Компании берет на себя ответственность за реализацию данной Политики повышения эффективности производства и обязуется создавать условия, мотивирующие сотрудников компании к обеспечению эффективности производства, и выделять для этих целей соответствующие финансовые, технические, кадровые и иные ресурсы, обеспечивая их эффективное использование; поддерживать соответствие системы управления требованиям международных стандартов ISO 9001, ISO 14001 анализировать качество ее работы и постоянно улучшать с целью повышения результативности работы системы для повышения эффективности производства.

### 1.3 Политика ООО «СУЭК-ХАКАСИЯ» в области промышленной безопасности и охраны труда

В ООО «СУЭК-Хакасия» сегодня - определена и действует система управления промышленной безопасностью при эксплуатации опасных производственных объектов, направленная на сохранение жизни и здоровья сотрудников Компании и работников подрядных организаций.

Цель ООО «СУЭК-Хакасия» - является постоянное снижение уровня аварийности, травматизма и профессиональной заболеваемости путем управления рисками возникновения негативных событий.

Для достижения поставленной цели мы строим свою деятельность на основе следующих ключевых принципов и предъявляем такие же требования к сотрудникам подрядных организаций:

1. Приоритетность. Мы осознаем необходимость сохранения жизни и здоровья людей, и потому стремимся неукоснительно соблюдать государственные законодательные и нормативные требования в области обеспечения промышленной безопасности и охраны труда, строить работу с учетом требований международных стандартов и целей развития ООО «СУЭК-Хакасия».
  2. Вовлеченность. Каждый работник, от рабочего до генерального директора, несет ответственность за обеспечение безопасных условий труда в зоне своей ответственности.
  3. Системность. Мы планируем производство работ и действия по обеспечению безопасных условий труда на основе оценки и управления рисками путем учета и устранения нарушений требований безопасности, прежде всего, повторяющихся.
  4. Превентивность. Мы проводим мониторинг и анализ соблюдения нормативных требований в области промышленной безопасности и охраны труда с целью принятия адекватных превентивных мер, в первую очередь, по устраниению нарушений этих требований и недопущению их повторного возникновения.
  5. Компетентность и ответственность персонала. Мы проводим обучение и повышение квалификации работников с целью обеспечения высокого уровня информированности, сознательности, личной ответственности за соблюдение требований промышленной безопасности и охраны труда.
  6. Постоянное совершенствование. Мы систематически проводим анализ достигнутых результатов, выявляем причины несоответствий и нарушений требований безопасности и определяем меры по их предупреждению. Мы ведем мониторинг и анализ новых технологий и методов работы в области промышленной безопасности и охраны труда, осваиваем лучшие из них.
- Руководство Компании берет на себя ответственность создавать условия, мотивирующие сотрудников Компании к обеспечению безопасных условий труда и повышению эффективности системы управления промышленной безопасностью и охраной труда. Выделять для этих целей соответствующие финансовые, технические, кадровые и иные ресурсы, обеспечивая их эффективное использование. Поддерживать соответствие системы требованиям международных стандартов OHSAS 18001 анализировать качество ее работы и постоянно улучшать с целью повышения результативности работы системы.
- ООО «СУЭК-Хакасия» внедряет непрерывные системы обучения персонала Компании безопасным приемам труда. Созданы условия для формирования стойких поведенческих установок на соблюдение требований безопасности труда у всех категорий сотрудников начиная с молодых специалистов.

Разработаны и реализуются программы, направленные на вовлечение и развитие компетентности персонала в области промышленной безопасности, охраны труда, на поддержание и поощрение сотрудников, которые вносят конкретный вклад в повышение промышленной безопасности.

С целью повышения уровня информированности, сознательности, личной ответственности за соблюдение требований промышленной безопасности и охраны труда ООО «СУЭК-Хакасия» проводит консультационные мероприятия:

1. Ежегодные конференции по промышленной безопасности, охране труда.
2. Обучающие семинары и тренинги на повышение квалификации работников.
3. Внедряется проведение курсов видео обучения по вопросам повышения компетентности.
4. Любой работник Компании по вопросам промышленной безопасности, охраны труда на рабочем месте может обратиться в отдел производственного контроля и охраны труда, или к уполномоченному по охране труда (общественному инспектору), службу ПК, ПБ, ОТ, ООС и МТ РПО.

#### 1.4 Политика ООО «СУЭК –ХАКАСИЯ» в области охраны окружающей среды

ООО «СУЭК-Хакасия» в полной мере осознает техногенный характер влияния своей хозяйственной деятельности на окружающую среду и свою ответственность перед обществом. Компания придерживается концепции устойчивого развития на основе соблюдения баланса между финансовыми, экономическими экологическими и социальными аспектами деятельности. Стремясь к сохранению благоприятной окружающей среды для будущих поколений, Компания намерена исполнять экологические и социальные обязательства, закрепленные настоящей Экологической политикой.

Стратегическая цель в области охраны окружающей среды – достижение уровня воздействия на окружающую среду, соответствующего действующим нормативным природоохранным требованиям.

Принципы, цели и задачи Политики в области охраны окружающей среды:

1. Для достижения цели мы строим свою деятельность на основе следующих ключевых принципов:

2. Системный подход к управлению охраной окружающей среды, как составной части интегрированной системы менеджмента:

3. Мы осознаем, что производственная деятельность Компании представляет опасность для окружающей потенциальную

среды и строим свои производственные и управленческие процессы так, чтобы минимизировать экологические риски;

4. Мы постоянно отслеживаем и анализируем природоохраные требования и своевременно реагируем на их изменения;

5. Мы систематически оцениваем и анализируем результаты нашей природоохранной деятельности с целью повышения ее результативности.

6. Рациональное использование недр. Мы стремимся максимально обеспечить полноту выемки запасов угля на высоком уровне, обеспечивающем целесообразность добычи.

7. Ресурсосбережение. Мы стремимся к обеспечению энерго- и ресурсосбережения на всех стадиях производственного процесса.

8. Прозрачность. Мы обеспечиваем доступность информации об экологической деятельности для персонала Общества и заинтересованных сторон.

9. Вовлеченность. Мы стремимся, чтобы каждый работник понимал, какое воздействие он оказывает на окружающую среду, деятельность его подразделения и предприятие в целом и активно участвовал в мероприятиях по снижению этого воздействия.

10. Профессионализм и компетентность. Мы повышаем квалификацию лиц ответственных за экологическую безопасность с целью снижения негативных воздействий на окружающую среду.

11. Постоянное совершенствование. Мы улучшаем производственные и управленческие процессы выделяя при этом основные приоритетные направления реализации экологической политики Компании с целью постоянного улучшения природоохранной деятельности Компании:

12. Поэтапного сокращения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, прежде всего парниковых газов и твердых веществ;

13. Последовательное снижение объемов сбросов загрязненных сточных вод в водные объекты;

14. Последовательное снижение массы сбросов загрязняющих веществ в поверхностный водный объект;

15. Обустройство мест размещения отходов с целью снижения техногенной нагрузки на окружающую среду.

Руководство компании берет на себя ответственность за реализацию Политики в области охраны окружающей среды и обязуется:

16. Создавать условия, способствующие последовательному и осознанному вовлечению сотрудников Компании в процесс снижения негативного воздействия деятельности на

окружающую среду, эффективному функционированию системы управления охраной окружающей среды;

17. Выделять для этих целей соответствующие финансовые, технические, кадровые и иные ресурсы, обеспечивая их эффективное использование;

18. Принимать и реализовывать производственные решения с учётом экологических аспектов намечаемой деятельности;

19. Информировать о результатах экологической деятельности заинтересованные стороны;

20. пересматривать, корректировать и совершенствовать, по мере необходимости, политику Компании в области охраны окружающей среды.

### 1.5 Сбор и анализ статистических данных по отказам и неисправностям автосамосвалов БЕЛАЗ

Сбор и анализ статистических данных по отказам и неисправностям автосамосвалов были проведены по автосамосвалам моделей БелАЗ 75131 и БелАЗ 75306 с гаражными номерами, представленными в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Данные по автосамосвалам

Модель а/с	Гаражный номер													
	105	109	111	112	118	119	120	121	122	123	124	125		
БелАЗ-75131	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	214	215	216
БелАЗ-75306	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	229	230	231
	232	233	234	235										

Для сбора данных были использованы отчеты, предоставленные руководством цеха по ремонту технологического автотранспорта и руководством службы линейного механика. Исследования проводились по данным за период эксплуатации 2017 -2018 годов.

На первом этапе был проведен сбор и обработка информации по отказам и неисправностям каждого автосамосвала (а/с) с определением наработки до их возникновения (пример представлен в таблице 1.3, 1.4).

Таблица 1.3 – Данные по отказам и неисправностям (на примере а/с 125)

Виды работ	Наработка, мото-час
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП)	64,0
Ремонт аварийно-световой сигнализации	
Ремонт централизованной системы смазки Lincoln (отказ в работе распределительной коробки, замена, проверка работоспособности системы)	30,0
Демонтаж, монтаж ,ремонт ЗЛН КГШ	
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП)	
Ремонт аварийно-световой сигнализации	200,5
Ремонт централизованной системы смазки Lincoln	
Диагностика ДВС	86,0
Ремонт гидросистемы. Настройка рабочих параметров. Прокачка подвески	17,0
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП)	
Ремонт аварийно-световой сигнализации.	91,0
Ремонт централизованной системы смазки Lincoln.	

Виды работ	Наработка, мото-час
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП)	
Ремонт аварийно-световой сигнализации	217,5
Ремонт централизованной системы смазки Lincoln	
Сварочные работы (рама)	
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП).	218,5
Ремонт аварийно-световой сигнализации.	
Ремонт централизованной системы смазки Lincoln.	38,5
Диагностика, ремонт. Течь масла из под крышек клапанов ДВС	24,0
Замена переднего левого цилиндра подвески	
Замена переднего левого цилиндра подвески	10,5
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП)	
Ремонт аварийно-световой сигнализации	158,0
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП),	
Ремонт аварийно-световой сигнализации	234,5
Ремонт централизованной системы смазки Lincoln	
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП)	
Ремонт аварийно-световой сигнализации	250,5
Ремонт централизованной системы смазки	
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП)	
Ремонт аварийно-световой сигнализации	256,5
Ремонт централизованной системы смазки	
Ревизия, ремонт электрооборудования (СУТЭП)	
Ремонт аварийно-световой сигнализации	157,6
Замена электродвигателя ДПТВ УВТР (разрушение подшипников, повышенная вибрация)	
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП).	
Ремонт аварийно-световой сигнализации	135,3
Ремонт ДВС (турбокомпрессор)	50,6
Диагностика, ремонт ДВС	5,6
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП)	
Ремонт аварийно-световой сигнализации	64,7
Сварочные работы	
Ремонт гидросистемы (замена отказавшего РВД автомата разгрузки насоса)	66,2
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП, СПВЛ).	
Ремонт аварийно-световой сигнализации.	66,2
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП, СПВЛ)	
Ремонт аварийно-световой сигнализации	
Ремонт централизованной системы смазки Lincoln	
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП, СПВЛ)	
Ремонт аварийно-световой сигнализации	121,0
Ремонт централизованной системы смазки Lincoln	
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП, СПВЛ).	
Ремонт аварийно-световой сигнализации	115,2
Сварочные работы	

Таблица 1.4 – Данные по отказам и неисправностям (на примере а/с 223)

Виды работ	Наработка, мото-час
Пневматическая система	
Электрооборудование (ТЭП)	62,0
Передняя ось	38,0
Электрооборудование (ТЭП)	98,0
Подвеска	205,0
Ревизия электрооборудования (СУТЭП, ТЭП)	
Ревизия централизованной системы смазки	210,5
Ремонт пневмосистемы (ремонт трубопровода подачи воздуха на КМ-4)	
ремонт электрооборудования (настройка контакторов)	104,5
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП)	116,0
Техническое обслуживание системы питания воздухом (замена фильтров)	122,0

Виды работ	Наработка, мото-час
Ремонт электрооборудования (КМ-7; КМ-8)	82,0
Ревизия электрооборудования (СУТЭП, УВТР)	1,0
Ремонт электрооборудования (замена, регулировка контактов КМ-2).	131,5
Ремонт электрооборудования (КМ-6)	
Частичная замена электропроводки. Техническое обслуживание системы питания воздухом	61,5
ТО-1. Ревизия электрооборудования (СУТЭП, УВТР).	103,5
Замена задних тормозных накладок (экстренное торможение)	
Ремонт электрооборудования (Замена КМ-8 регулировка КМ-2)	123,5
Ремонт электрооборудования (нет хода)	
Ремонт электрооборудования (КМ-4)	89,0
ТО-2 Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП)	41,5
Замена воздушных фильтров	428,5
Гидросистема	55,0
Замена воздушных фильтров	150,5
Электрооборудование (ТЭП)	19,0
Техническое обслуживание системы питания воздухом (замена фильтров)	284,0
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП).	104,0
Ремонт, ревизия цилиндров подвески	75,5
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП)	163,0
Сварочные работы	
Техническое обслуживание системы питания воздухом (замена фильтров)	122,0
Диагностика, ремонт пневмогидроцилиндров подвески	28,0
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП)	
Проверка подключения и работоспособности датчиков температуры подшипниковых узлов, диагностика силовых цепей защиты тягового электропривода	95,0
Техническое обслуживание системы питания воздухом (замена фильтров)	156,0
Ремонт распределителя топлива системы охлаждения ДВС (замена патрубка)	60,5
Мойка автомобиля, подготовка к ТО	57,5
Техническое обслуживание системы питания воздухом (замена фильтров)	160,5
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП)	80,0
Сварочные работы	
Подвеска	285,0
Подвеска	8,5
Гидросистема	17,0
Замена воздушных фильтров	45,0
Ремонт системы карьер	67,0
ДВС	
Рулевое управление	187,0
Замена воздушных фильтров	23,0
Ремонт пневмосистемы (ресивер - замена крана)	69,0
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП)	
Регулировка амортизаторов грузовой платформы	83,5
Техническое обслуживание системы питания двигателя воздухом (продувка воздушных фильтров)	122,5
Ремонт рулевого управления (удаление заломов на поперечной тяге).	67,0
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП). Высверливание заломов изоляторов электродвигателя УВТР. Токарные работы	
Протяжка амортизаторов дизель-генераторной установки	61,0
Диагностика/ремонт ДВС. Техническое обслуживание системы питания ДВС воздухом - продувка воздушных фильтров	106,0
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП)	
Ремонт аварийно-световой сигнализации.	
Ремонт КМ2, КМ6	152,0
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП)	
Ремонт аварийно-световой сигнализации	274,5
Электрооборудование (ТЭП)	83,0
Замена воздушных фильтров	70,5
ДВС	48,0

Виды работ	Наработка, мото-час
Ремонт электрооборудования (корпус - СГТМ-1400)	216,5
Ремонт пневмостартера ДВС ( пневмоклапан)	
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП)	
Ремонт аварийно-световой сигнализации	
Сварочные работы	130,0
Демонтаж, ремонт, монтаж ЦП ЛП	
Техническое обслуживание системы питания ДВС воздухом (замена воздушных фильтров)	161,0
Ревизия, ремонт электрооборудования (УВТР, СУТЭП)	
Ремонт аварийно-световой сигнализации	122,5

На втором этапе был проведен анализ полученной информации (этапа 1), на основе которой были составлены вариационные ряды наработок на отказ (неисправность) (таблица 2.5) по основным системам, агрегатам, элементам (далее элементам). Для упрощения дальнейших работ каждому элементу был присвоен код в соответствие с разработанным классификатором элементов (таблица 2.4). В случае наличия значительного количества отказов (более 20) по отдельным системам и элементам их вариационные ряды обрабатывались отдельно (по уточненной группе), а в случае наличия малого количества отказов по не входящим в уточненные группы элементам формировались вариационные ряды по укрупненной группе.

Таблица 1.5 – Классификатор элементов

Укрупненная группа элементов	Код	Уточненная группа элементов	Код
СВАРКА	1	Грузовая платформа	11
		Рама	12
		Палуба	13
		Рулевое управление (трапеции)	14
		Картер заднего моста	15
		Подвеска (поперечные балки, штанги)	17
		Выхлопная система	18
		Гидросистема	19
ПОДВЕСКА	2	Центральный шарнир	21
		Пневмогидроцилиндр	22
		Шаровая опора пневмогидроцилиндра	23
		Палец задней подвески	24
		Проушина	25
		Поперечная штанга	26
		Амортизатор грузовой платформы	27
ПНЕВМОСИСТЕМА	3	Пневмостартер	31
		Воздуховоды	32
		Компрессор	33
		Регулятор давления	34
		Жалюзи	36
ГИДРОСИСТЕМА	4	Система смазки	40
		РВД	41
		Блок пилотов	42
		Аксиально-поршневой	43

Укрупненная группа элементов	Код	Уточненная группа элементов	Код
		насос	
		Насос дозатор	44
		Автомат разгрузки	45
		Усилитель потока	46
		Гидрораспределитель	47
		Фильтр	48
		Карданный вал насоса	49
		РМК	50
ТРАНСМИССИЯ	5	Торсионный вал	51
		Замена масла	52
		Система отработавших газов	61
		Актуатор	62
		РВД	63
		Стартер	64
ДВС	6	Турбокомпрессор	65
		Форсунки	66
		Электрооборудование	67
		Амортизатор подмоторный	68
		Топливная система	69
		Гидромуфта	600
		Электрооборудование УВТР	70
		Электрооборудование ход	71
НАВЕСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	7	Топливный насос	72
		Контактор модульный	73
		Корпус динамики -75	75
		Осветительные приборы	76
		Динамический тормоз	77
		АКБ	78
		АСД карьер	79
		Электродвигатель ДВС	700
		Тяговый генератор	701
		Зарядный генератор	702
		Ремень генератора	703
		Катушки	704
		Щетки	705
		Ремень вентилятора	81
		Патрубки обдува тяговых электродвигателей	82
СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ	8	Охлаждающая жидкость	83
		Патрубки системы	84
		Термостат	85
		Натяжной ролик привода вентилятора	86
		Радиаторы	88
		Жидкостной насос	89
		Отопление кабины	35
		Цилиндр поворота	91
		КГШ	92
		Ступица	93
		Ступичный подшипник	94
		Палец цилиндра поворота (+ШСЛ)	95
		Шпильки	96
		Поворотный кулак	97
		Поворотный рычаг	98
РУЛЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ХОДОВАЯ ЧАСТЬ	9	Рулевая тяга	99

Укрупненная группа элементов	Код	Уточненная группа элементов	Код
		Поворотная плита	900
		Трапеция	901
		Рулевая колонка	902
		Суппорт	101
		Тормозные колодки	102
		Тормозной диск	103
ТОРМОЗНАЯ СИСТЕМА	100	Тормозной цилиндр	104
		Клапан РГС	105
		Кран стояночного тормоза	106
		Пневмогидроаккумуляторы	74

Таблица 1.6 – Примеры вариационных рядов

А/с БелАЗ 75131		А/с БелАЗ 75306	
Наработка на отказ Элемент 2, тыс. мото-час	Наработка на отказ Элемент 22, тыс. мото-час	Наработка на отказ Элемент 100, тыс. мото-час	Наработка на отказ Элемент 102, тыс. мото-час
0,033	0,033	0,064	0,294
0,054	0,064	0,206	0,348
0,060	0,065	0,425	0,391
0,064	0,073	0,496	0,391
0,065	0,090	0,613	0,481
0,073	0,145	0,696	0,567
0,090	0,160	0,842	0,618
0,145	0,269	1,693	0,645
0,160	0,294	2,009	0,995
0,170	0,341	2,092	1,029
0,205	0,825	2,335	1,049
0,205	1,086	2,385	1,310
0,221	1,104	2,953	1,386
0,269	1,118	2,975	1,846
0,294	1,169	3,399	1,891
0,341	1,343	4,018	1,958
0,382	1,366	4,143	2,178
0,392	2,091	4,314	2,282
0,475	2,156	4,568	2,519
0,527	2,566	6,662	2,740
0,638	2,717	7,472	2,948
0,707	2,854	7,849	3,013
0,825	2,879	8,204	4,526
1,051	3,032	8,207	4,858
1,086	3,137	9,324	4,885
1,104	3,256	9,394	6,028
1,118	3,676	9,550	6,252
1,143	4,384	10,072	6,452
1,161	4,484	11,683	7,165
1,161	5,070	11,979	7,503
1,169	5,187	12,039	8,117
1,499		12,117	8,316
1,639		12,707	8,984
1,900		12,920	8,984
2,091		13,063	9,095
2,156		13,253	9,199
2,193		13,791	9,394
2,275			9,694
2,566			9,826
2,717			10,168
2,854			10,428

А/с БелАЗ 75131		А/с БелАЗ 75306	
Наработка на отказ Элемент 2, тыс. мото-час	Наработка на отказ Элемент 22, тыс. мото-час	Наработка на отказ Элемент 100, тыс. мото-час	Наработка на отказ Элемент 102, тыс. мото-час
2,854			11,252
2,879			11,404
3,032			11,711
3,137			11,738
3,410			12,188
3,410			12,243
3,410			12,305
3,432			12,743
3,666			13,253
3,676			13,411
3,676			13,414
4,384			13,530
5,026			13,824
5,187			13,872
			14,097

## 2 Оценка точечных и интервальных показателей эксплуатационной надежности автосамосвалов БЕЛАЗ

### 2.1 Порядок обработки и анализа статистической информации

Оценку точечных и интервальных показателей эксплуатационной надежности проводим по группам элементов, указанных в классификаторе и отдельно по а/с БелАЗ 73131 и БелАЗ 73306.

Методика оценки показателей представлена ниже.

1. Определяется средняя наработка на отказ, мото-час

$$L_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{n}, \quad (2.1)$$

где  $L_i$  - текущее значение наработки на отказ, тыс. мото-час;

$n$  - объем выборки.

2. Определяется среднеквадратическое отклонение, тыс. мото-час

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - L_{cp})^2}{n-1}}. \quad (2.2)$$

3. Определяется коэффициент вариации

$$v = \sigma / L_{cp}. \quad (2.3)$$

Вычисляется зона рассеивания вариационного ряда. Проводится разбивка зоны рассеивания на интервалы ( $S$ ) и подсчет частоты ( $m_j$ ) попадания отказов в каждый интервал (если количество отказов, попавших в интервал равно нулю, то данный интервал делится на две равные части, левая присоединяется к левому соседнему интервалу, а правая – к правому).

Зона рассеивания вариационного ряда определяется, тыс. мото-час

$$z = L_{\max} - L_{\min}. \quad (2.4)$$

Число интервалов рекомендуется определять по формуле с округлением до целого числа в большую сторону

$$S = 1 + 3,32 \lg n, \quad (2.5)$$

где  $S$  - кол-во интервалов.

4. Определяется длина интервала, тыс. мото-час

$$\Delta L = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{S}. \quad (2.6)$$

5. Определяются границы интервалов, мото-час

$$L_j = L_{\min} + \Delta L. \quad (2.7)$$

Вычисляются эмпирические (статистические): плотность распределения ( $f_s(L)$ ), вероятность безотказной работы ( $P_s(L)$ ), функция распределения (вероятность отказа) ( $F_s(L)$ ) для каждого интервала по формулам

$$f_s(L) = \frac{m_j}{n \cdot \Delta L}, \quad (2.8)$$

$$F_s(L) = \frac{\sum_{j=1}^s m_j}{n}, \quad (2.9)$$

$$P_s(L) = 1 - F_s(L) = \frac{n - \sum_{j=1}^s m_j}{n}. \quad (2.10)$$

Определяются в соответствии с выбранным законом распределения теоретические плотность распределения ( $f_T(L)$ ), вероятность безотказной работы ( $P_T(L)$ ), функцию распределения ( $F_T(L)$ ) для каждого интервала по формулам

а) Нормальный закон распределения

$$f_T(L) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\bar{L}_i - L_{cp})^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.11)$$

$$F_T(L) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \Phi(Y), \quad (2.12)$$

где  $\Phi(Y)$  – нормированная функция (выбирается по [5, табл.2.1]).

$$Y = \frac{\bar{L}_i - L_{cp}}{\sigma}, \quad (2.13)$$

$$P_T(L) = 1 - F_T(L). \quad (2.14)$$

б) Экспоненциальный закон распределения

$$f_T(L) = \lambda \cdot e^{-\lambda \bar{L}_i}, \quad (2.15)$$

$$F_T(L) = 1 - e^{-\lambda \bar{L}_i}, \quad (2.16)$$

где  $\lambda$  - параметр экспоненциального закона распределения  $\lambda = \frac{1}{\bar{L}_{cp}}$ .

$$P_T(L) = 1 - F_T(L). \quad (2.17)$$

в) Закон Вейбулла – Гнеденко

$$f_T(L) = \frac{b}{a} \left( \frac{\bar{L}_i}{a} \right)^{b-1} \exp \left[ - \left( \frac{\bar{L}_i}{a} \right)^b \right], \quad (2.18)$$

$$F_T(L) = 1 - \exp \left( - \left( \frac{\bar{L}_i}{a} \right)^b \right), \quad (2.19)$$

где  $b$  - параметр формы (выбирается в зависимости от коэффициента вариации по [5, табл.2.2]);

$$a\text{-параметр масштаба } a = \frac{\bar{L}_{cp}}{\Gamma(1 + \frac{1}{b})};$$

$\Gamma(1 + \frac{1}{b})$  - значение гамма-функции (выбирается по [5, табл.2.3]).

$$P_T(L) = 1 - F_T(L). \quad (2.20)$$

Полученные в результате расчета данные сводятся в таблицы.

Выполняется проверка согласия между эмпирическим и принятым теоретическим распределением по критерию согласия  $\chi^2$  (Пирсона).

Для этого:

а) Вычисляется для каждого интервала произведение  $n \cdot P_j$ , где

$$P_j = f_T(L) \cdot \Delta L;$$

б) Рассчитывается разность  $(m_j - n \cdot P_j)$  на каждом интервале;

в) Подсчитанные разности возводятся в квадрат  $(m_j - n \cdot P_j)^2$ ;

г) Определяются отношение  $\frac{(m_j - n \cdot P_j)^2}{n \cdot P_j}$  для каждого интервала;

д) Суммируются отношения  $\frac{(m_j - n \cdot P_j)^2}{n \cdot P_j}$  по интервалам – это и есть

искомый  $\chi^2_{\text{расч}}$

$$\chi^2_{расч} = \sum \frac{(m_j - n \cdot P_j)^2}{n \cdot P_j}. \quad (2.21)$$

е) Сравнивается  $\chi^2_{расч}$  с табличным значением  $\chi^2_{табл}$  при выбранной доверительной вероятности (уровня ошибки)  $\alpha = 0,05$ .

$\chi^2_{табл}$  определяется по [5, табл.2.4]. Для этого определяется число степеней свободы по формуле

$$k = S - 1 - R, \quad (2.22)$$

где  $S$  – количество интервалов;

$R$  – количество параметров предполагаемого распределения (закона).

Предполагаемый закон распределения считается подтвержденным, если выполняется условие  $\chi^2_{расч} \leq \chi^2_{табл}$ . В случае, если нулевая гипотеза не подтверждается при доверительной вероятности  $\alpha = 0,05$ , необходимо

- а) снизить уровень доверительной вероятности на один пункт;
- б) выбрать в качестве нулевой гипотезы другой закон распределения.

При обработке вариационных рядов (особенно для а/с БелАЗ 75306) по элементам 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 17, 40, 41, 45, 70, 73, 76, 84, 92, 100, 102 наблюдается образование двух и более пиков сосредоточения частоты попадания в интервалы (рисунок 2.1). Это объясняется изначальным включением в вариационные ряды наработка на отказ данных по а/с, у которых данный отказ является первым.

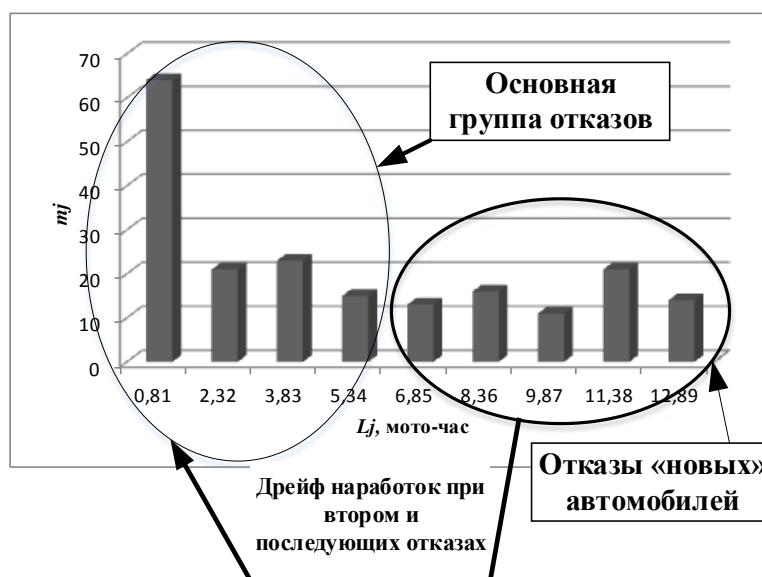


Рисунок 2.1 – Частота попадания наработок на отказ

В дальнейшей эксплуатации значения наработок на второй и последующие отказы смещаются в основную группу отказов. Поэтому в дальнейшем данные наработка по первым отказам у названных элементов учитываться не будут.

## 2.2 Расчет показателей надежности для а/с БелАЗ 75131

Расчет точечных показателей надежности представлен в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Расчет точечных показателей надежности

Элемент	Всего отказов	$L_{cp}$ , тыс. мото-час.	$\sigma$ , тыс. мото-час.	$v$	$z$ , тыс. мото-час.	$S$	$\Delta L$ , тыс. мото-час.
1	162	0,61	0,59	0,98	3,081	9	0,34
2	55	1,61	1,46	0,91	5,154	7	0,74
3	45	1,13	1,68	1,49	7,122	6	1,02
4	131	0,64	1,09	1,69	8,301	5	0,92
5	34	1,67	1,55	0,93	5,659	6	0,81
6	71	1,26	1,70	1,35	11,562	5	1,45
7	162	0,63	0,97	1,54	8,432	7	0,94
8	65	1,1	1,05	0,96	5,437	7	0,68
9	67	0,97	1,02	1,06	4,662	7	0,58
12	126	0,82	0,9	1,1	4,409	8	0,55
13	26	1,96	2,46	1,25	10,188	5	1,7
17	29	1,62	1,69	1,04	6,957	5	1,16
22	31	1,84	1,63	0,88	5,154	6	0,86
40	191	0,39	0,37	0,95	2,670	8	0,30
41	109	0,84	1,00	1,18	6,168	7	0,77
45	20	1,18	1,94	1,64	6,523	4	1,09
70	350	0,26	0,20	0,76	1,220	10	0,12
73	51	1,35	1,89	1,39	9,358	6	1,34
76	220	0,29	0,26	0,88	1,419	9	0,16
92	130	0,69	0,67	0,97	3,270	8	0,36
100	56	1,35	1,36	1,01	5,427	7	0,78
102	38	1,79	1,71	0,96	6,040	7	0,86

Одной из основных целей системы технического обслуживания является обеспечение безотказной работы подвижного состава в пределах установленных периодичностей по воздействиям, включенными в перечень операций [6], т. е. в период между очередными (смежными) техническими воздействиями. Таким образом, автосамосвал будет считаться безотказным, если между очередными ТО не будут фиксироваться отказы и неисправности, кроме внезапных (причиной которых является внезапное изменение технического состояния). Нами были проанализированы данные об изменении коэффициента технической готовности парка и уровня безотказности за 2018 год (таблица 2.7, рисунок 2.2).

Таблица 2.7 – Сравнение величин готовности парка

Номер автосамосвала											
105	109	111	112	118	119	120	121	122	123	124	125
Коэффициент технической готовности (средний за год)											
0,89	0,90	0,87	0,88	0,88	0,91	0,91	0,78	0,95	0,95	0,96	0,95
Уровень безотказности (средний за год), в долях от периодичности ТО											
0,33	0,24	0,31	0,26	0,23	0,32	0,28	0,28	0,67	0,53	0,56	0,51

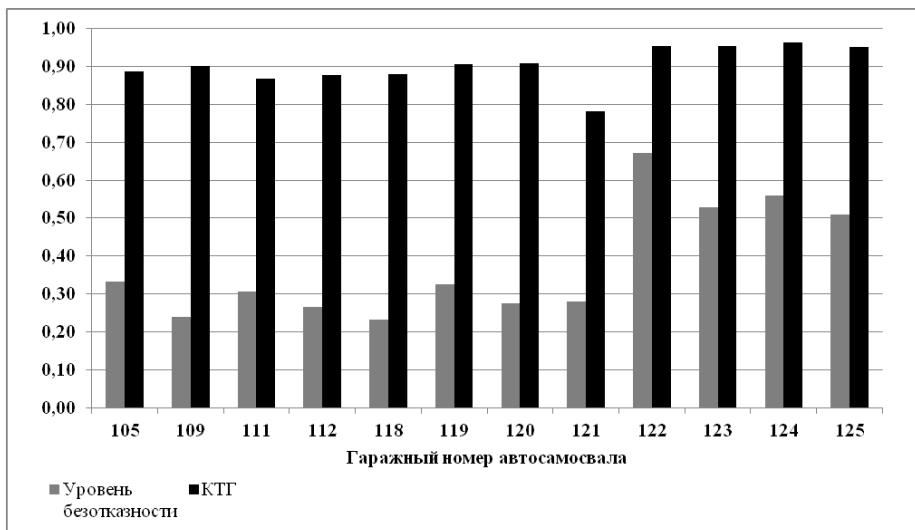


Рисунок 2.2 – Сравнение величин готовности парка

Как видно из графика отсутствует прямая связь между коэффициентом технической готовности и уровень безотказности, т. е. частые и не продолжительные простоя в системе ТО и Р позволяют иметь значительный уровень к.т.г., но не позволяет обеспечивать достижение одну из целей системы ТО и Р.

Сопоставляя полученные значения средней наработки с периодичностью ТО видим, что они превышают установленную периодичность (что является положительным фактором). Однако более важным показателем является значение коэффициента вариации, которое показывает относительный разброс наработок от среднего значения (при его значении до 0,23-0,3 разброс считается малым, при 0,3-0,7 средним, при более 0,7-0,8 большим). Большой разброс значений крайне затрудняет планирование профилактических мероприятий, направленных на предупреждение отказов. При заданной периодичности ТО и значительной вариации показатели технического состояния части а/с имеют запас ресурса существенно превосходящую установленную периодичность (для этих а/с ТО является преждевременным и вызывает только дополнительные затраты), а часть а/с уже получать отказ (для этих а/с ТО является поздним, т. к. не предупрежден отказ, что также вызывает дополнительные затраты). Если значение коэффициента вариации 0,9 и более можно говорить о недостаточной эффективности существующей системы ТО. В случае превышения коэффициента вариации 1,0 можно говорить об отсутствии экономической целесообразности проведения ТО. При этом входящий в систему ТО и Р поток требований на устранение отказов носит абсолютно хаотичный характер никак не зависящий от периодичности и номенклатуры плановых ТО.

Проводится разбивка вариационных рядов на интервалы с определением их границ и определяется частота ( $m_j$ ) попадания наработок на отказ в каждый интервал (таблица 2.8).

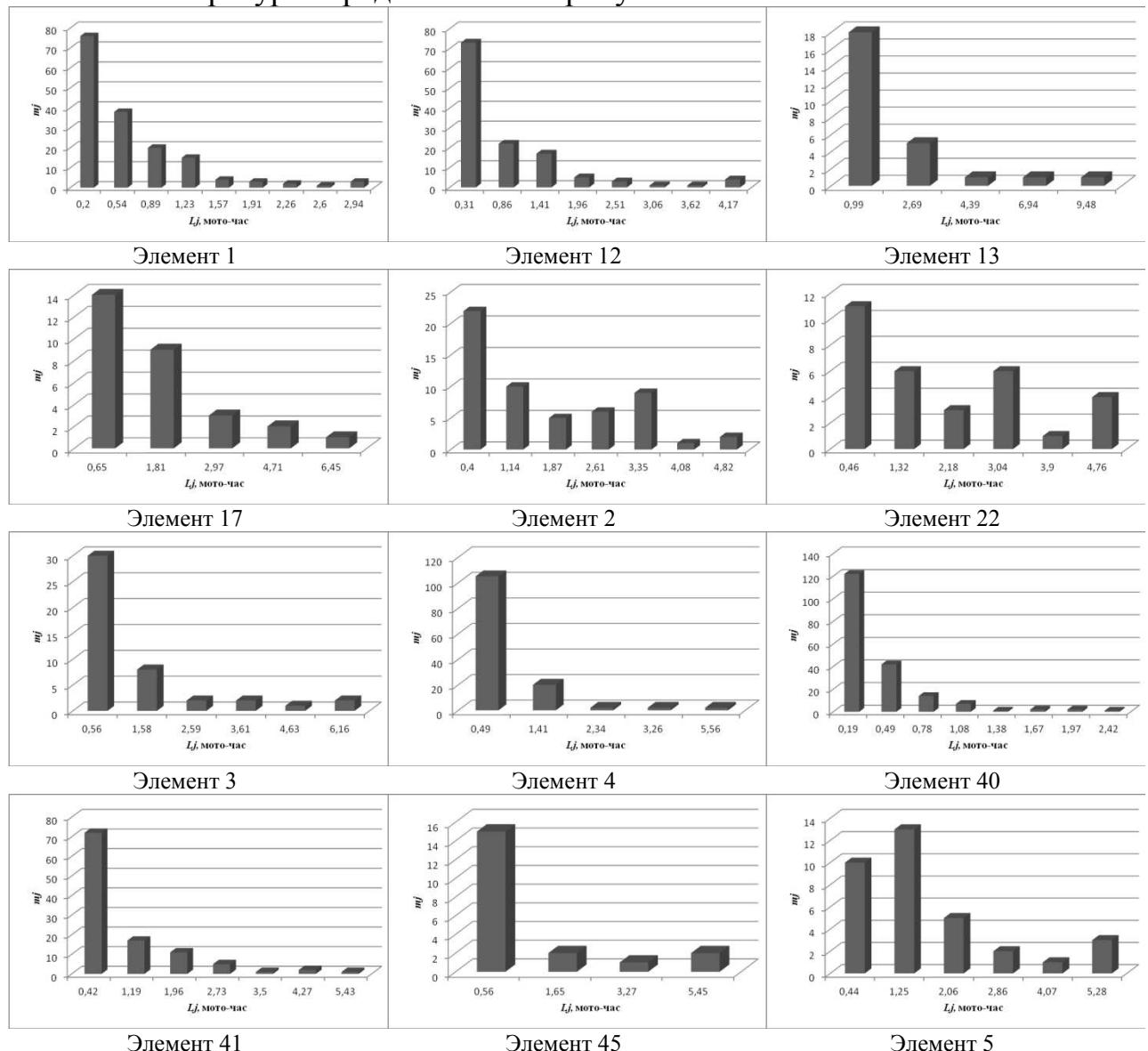
Таблица 2.8 – Интервалы вариационных рядов. Частота попадания

Элемент	Номер интервала ( $j$ )	Границы интервалов, тыс. мото-час		Середины интервалов ( $L_j$ ), тыс. мото-час	Частоты, попавшие в интервал ( $m_j$ )
		левая	правая		
1	1	0,03	0,37	0,20	76
	2	0,37	0,72	0,54	38
	3	0,72	1,06	0,89	20
	4	1,06	1,40	1,23	15
	5	1,40	1,74	1,57	4
	6	1,74	2,08	1,91	3
	7	2,08	2,43	2,26	2
	8	2,43	2,77	2,60	1
	9	2,77	3,11	2,94	3
12	1	0,03	0,58	0,31	73
	2	0,58	1,13	0,86	22
	3	1,13	1,69	1,41	17
	4	1,69	2,24	1,96	5
	5	2,24	2,79	2,51	3
	6	2,79	3,34	3,06	1
	7	3,34	3,89	3,62	1
	8	3,89	4,44	4,17	4
13	1	0,15	1,84	0,99	18
	2	1,84	3,54	2,69	5
	3	3,54	6,09	4,39	1
	4	6,09	8,63	6,94	1
	5	8,63	10,33	9,48	1
17	1	0,07	1,23	0,65	14
	2	1,23	2,39	1,81	9
	3	2,39	4,13	2,97	3
	4	4,13	5,87	4,71	2
	5	5,87	703	6,45	1
2	1	0,03	0,77	0,40	22
	2	0,77	1,51	1,14	10
	3	1,51	2,54	1,87	5
	4	2,24	2,98	2,61	6
	5	2,98	3,71	3,35	9
	6	3,71	4,45	4,08	1
	7	4,45	5,19	4,82	2
22	1	0,03	0,89	0,46	11
	2	0,89	1,75	1,32	6
	3	1,75	2,61	2,18	3
	4	2,61	3,47	3,04	6
	5	3,47	4,33	3,90	1
	6	4,33	5,19	4,76	4
3	1	0,05	1,07	0,56	30
	2	1,07	2,08	1,58	8
	3	2,08	3,10	2,59	2
	4	3,10	4,12	3,61	2
	5	4,12	5,65	4,63	1
	6	5,65	7,17	6,16	2
4	1	0,03	0,95	0,49	105
	2	0,95	1,88	1,41	20
	3	1,88	2,80	2,34	2
	4	2,80	5,10	3,26	2
	5	5,10	8,33	5,56	2
40	1	0,04	0,34	0,19	122
	2	0,34	0,63	0,49	42
	3	0,63	0,93	0,78	14
	4	0,93	1,23	1,08	7
	5	1,23	1,52	1,38	1
	6	1,52	1,82	1,67	2
	7	1,82	2,27	1,97	2
	8	2,27	2,71	2,42	1
41	1	0,03	0,80	0,42	72
	2	0,80	1,57	1,19	17
	3	1,57	2,34	1,96	11
	4	2,34	3,11	2,73	5
	5	3,11	3,88	3,50	1
	6	3,88	5,04	4,27	2
	7	5,04	6,20	5,43	1
45	1	0,02	1,10	0,56	15
	2	1,10	2,73	1,65	2
	3	2,73	4,91	3,27	1

Элемент	Номер интервала ( $j$ )	Границы интервалов, тыс. мото-час		Середины интервалов ( $L_j$ ), тыс. мото-час	Частоты, попавшие в интервал ( $m_j$ )
		левая	правая		
5	4	4,91	6,54	5,45	2
	1	0,03	0,84	0,44	10
	2	0,84	1,65	1,25	13
	3	1,65	2,46	2,06	5
	4	2,46	3,67	2,86	2
	5	3,67	4,88	4,07	1
	6	4,88	5,69	5,28	3
6	1	0,04	1,49	0,77	53
	2	1,49	2,93	2,21	13
	3	2,93	4,38	3,66	1
	4	4,38	7,99	5,10	3
	5	7,99	11,61	8,71	1
7	1	0,03	0,39	0,21	94
	2	0,39	0,75	0,57	27
	3	0,75	1,12	0,94	14
	4	1,12	1,48	1,30	8
	5	1,48	1,84	1,66	9
	6	1,84	2,38	2,02	4
	7	2,38	2,92	2,56	2
	8	2,92	3,28	3,10	1
70	1	0,03	0,15	0,09	114
	2	0,15	0,27	0,21	73
	3	0,27	0,40	0,34	113
	4	0,40	0,52	0,46	16
	5	0,52	0,64	0,58	17
	6	0,64	0,76	0,70	3
	7	0,76	0,88	0,82	7
	8	0,88	1,01	0,95	1
	9	1,01	1,13	1,07	3
	10	1,13	1,25	1,19	3
73	1	0,03	1,37	0,70	35
	2	1,37	2,71	2,04	8
	3	2,71	4,04	3,37	3
	4	4,04	5,38	4,71	2
	5	5,38	7,38	6,05	2
	6	7,38	9,39	8,05	1
76	1	0,03	0,19	0,11	97
	2	0,19	0,35	0,27	74
	3	0,35	0,51	0,43	14
	4	0,51	0,66	0,59	18
	5	0,66	0,82	0,74	7
	6	0,82	0,98	0,90	2
	7	0,98	1,14	1,06	1
	8	1,14	1,29	1,22	5
	9	1,29	1,45	1,37	2
8	1	0,05	0,73	0,39	34
	2	0,73	1,41	1,07	13
	3	1,41	2,09	1,75	7
	4	2,09	2,77	2,43	7
	5	2,77	3,45	3,11	2
	6	3,45	4,47	3,79	1
	7	4,47	5,49	4,81	1
9	1	0,05	0,63	0,34	33
	2	0,63	1,21	0,92	16
	3	1,21	1,79	1,50	7
	4	1,79	2,67	2,09	6
	5	2,67	3,54	2,96	1
	6	3,54	4,12	3,83	3
	7	4,12	4,71	4,41	1
92	1	0,04	0,40	0,22	62
	2	0,40	0,76	0,58	22
	3	0,76	1,13	0,94	22
	4	1,13	1,49	1,31	7
	5	1,49	1,85	1,67	7
	6	1,85	2,22	2,04	6
	7	2,22	2,76	2,40	2
	8	2,76	3,31	2,94	2
100	1	0,03	0,81	0,42	24
	2	0,81	1,58	1,20	15
	3	1,58	2,36	1,97	7

Элемент	Номер интервала ( $j$ )	Границы интервалов, тыс. мото- час		Середины интервалов ( $L_j$ ), тыс. мото-час	Частоты, попавшие в интервал ( $m_j$ )
		левая	правая		
102	4	2,36	3,13	2,75	3
	5	3,13	3,91	3,52	3
	6	3,91	4,68	4,30	2
	7	4,68	5,46	5,07	2
	1	0,04	0,90	0,47	17
	2	0,90	1,76	1,33	6
	3	1,76	2,62	2,19	4
	4	2,62	3,49	3,06	5

Графическое представление частоты попадания отказов в интервал технического ресурса представлено на рисунке 2.3.



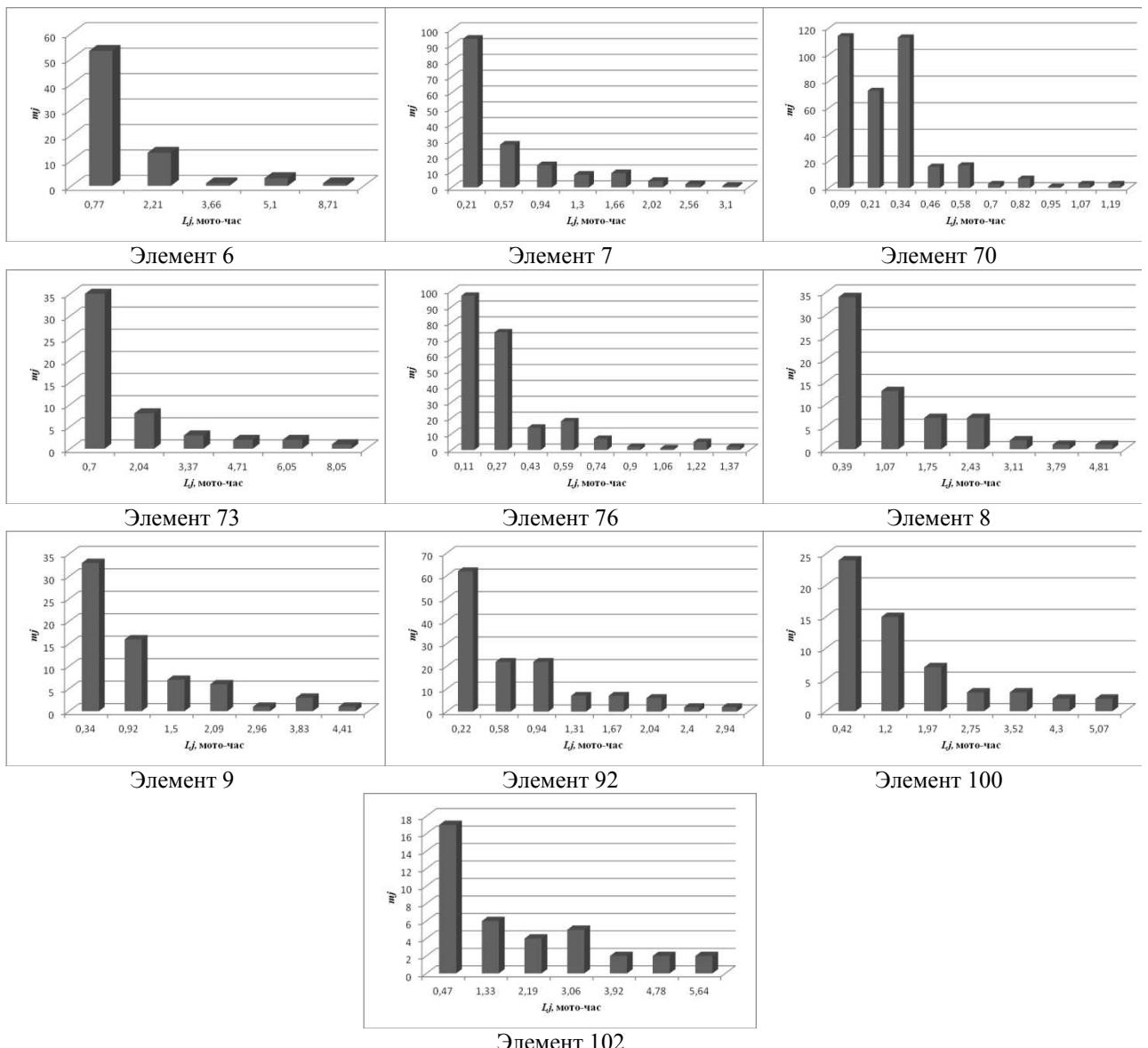


Рисунок 2.3 – Частоты попадания отказов в интервалы технического ресурса

Анализируя представленные выше графики можно сделать вывод о том, что значительная доля отказов практически по всем выделенным элементам происходит в период либо в наработке до 250 мото-часов, либо максимум в наработке до 500 мото-часов. Таким образом, подтверждается сделанный ранее вывод о необходимости совершенствования существующей системы ТО.

Вычисляются эмпирические (статистические) плотность распределения ( $f_3(L)$ ) по формуле (2.8), функция распределения ( $F_3(L)$ ) по формуле (2.9), вероятность безотказной работы ( $P_3(L)$ ) по формуле (2.10). Полученные в результате расчета данные сводятся в таблицу 2.9.

Таблица 2.9 – Эмпирические данные

Элемент	$f_3(L)$	$F_3(L)$	$P_3(L)$
1	1,371	0,469	0,53
	0,685	0,704	0,30
	0,361	0,827	0,17
	0,271	0,920	0,08
	0,072	0,944	0,06
	0,054	0,963	0,04

Элемент	$f_3(L)$	$F_3(L)$	$P_3(L)$
	0,036	0,975	0,02
	0,018	0,981	0,02
	0,054	1,000	0,00
	1,051	0,579	0,42
12	0,317	0,754	0,25
	0,245	0,889	0,11
	0,072	0,929	0,07
	0,043	0,952	0,05
	0,014	0,960	0,04
	0,014	0,968	0,03
	0,058	1,000	0,00
	0,408	0,692	0,31
13	0,113	0,885	0,12
	0,023	0,923	0,08
	0,023	0,962	0,04
	0,023	1,000	0,00
	0,416	0,483	0,52
17	0,268	0,793	0,21
	0,089	0,897	0,10
	0,059	0,966	0,03
	0,030	1,000	0,00
	0,543	0,400	0,60
2	0,247	0,582	0,42
	0,123	0,673	0,33
	0,148	0,782	0,22
	0,222	0,945	0,05
	0,025	0,964	0,04
	0,049	1,000	0,00
	0,413	0,355	0,65
22	0,225	0,548	0,45
	0,113	0,645	0,35
	0,225	0,839	0,16
	0,038	0,871	0,13
	0,150	1,000	0,00
	0,655	0,667	0,33
3	0,175	0,844	0,16
	0,044	0,889	0,11
	0,044	0,933	0,07
	0,022	0,956	0,04
	0,044	1,000	0,00
	0,869	0,802	0,20
4	0,166	0,954	0,05
	0,017	0,969	0,03
	0,017	0,985	0,02
	0,017	1,000	0,00
	2,153	0,639	0,36
40	0,741	0,859	0,14
	0,247	0,932	0,07
	0,124	0,969	0,03
	0,018	0,974	0,03
	0,035	0,984	0,02
	0,035	0,995	0,01
	0,018	1,000	0,00
	0,857	0,661	0,34
41	0,202	0,817	0,18
	0,131	0,917	0,08
	0,059	0,963	0,04
	0,012	0,972	0,03
	0,024	0,991	0,01
	0,012	1,000	0,00
	0,690	0,750	0,25
45	0,092	0,850	0,15
	0,046	0,900	0,10
	0,092	1,000	0,00
	0,364	0,294	0,71
5	0,473	0,676	0,32
	0,182	0,824	0,18
	0,073	0,882	0,12
	0,036	0,912	0,09
	0,109	1,000	0,00
	0,516	0,746	0,25
6	0,127	0,930	0,07
	0,010	0,944	0,06

Элемент	$f_3(L)$	$F_3(L)$	$P_3(L)$
	0,029	0,986	0,01
	0,010	1,000	0,00
7	1,638	0,591	0,41
	0,471	0,761	0,24
	0,244	0,849	0,15
	0,139	0,899	0,10
	0,157	0,956	0,04
	0,070	0,981	0,02
	0,035	0,994	0,01
	0,017	1,000	0,00
70	2,670	0,326	0,67
	1,710	0,534	0,47
	2,646	0,857	0,14
	0,375	0,903	0,10
	0,398	0,951	0,05
	0,070	0,960	0,04
	0,164	0,980	0,02
	0,023	0,983	0,02
	0,070	0,991	0,01
	0,070	1,000	0,00
73	0,513	0,686	0,31
	0,117	0,843	0,16
	0,044	0,902	0,10
	0,029	0,941	0,06
	0,029	0,980	0,02
	0,015	1,000	0,00
76	2,797	0,441	0,56
	2,134	0,777	0,22
	0,404	0,841	0,16
	0,519	0,923	0,08
	0,202	0,955	0,05
	0,058	0,964	0,04
	0,029	0,968	0,03
	0,144	0,991	0,01
	0,058	1,000	0,00
	0,770	0,523	0,48
8	0,294	0,723	0,28
	0,158	0,831	0,17
	0,158	0,938	0,06
	0,045	0,969	0,03
	0,023	0,985	0,02
	0,023	1,000	0,00
	0,845	0,493	0,51
9	0,410	0,731	0,27
	0,179	0,836	0,16
	0,154	0,925	0,07
	0,026	0,940	0,06
	0,077	0,985	0,01
	0,026	1,000	0,00
	1,313	0,477	0,52
92	0,466	0,646	0,35
	0,466	0,815	0,18
	0,148	0,869	0,13
	0,148	0,923	0,08
	0,127	0,969	0,03
	0,042	0,985	0,02
	0,042	1,000	0,00
	0,553	0,429	0,57
100	0,345	0,696	0,30
	0,161	0,821	0,18
	0,069	0,875	0,13
	0,069	0,929	0,07
	0,046	0,964	0,04
	0,046	1,000	0,00
	0,518	0,447	0,55
102	0,183	0,605	0,39
	0,122	0,711	0,29
	0,152	0,842	0,16
	0,061	0,895	0,11
	0,061	0,947	0,05
	0,061	1,000	0,00

Законы распределения наработок на отказ позволяют исчерпывающе описывать тенденцию изменения наработок на отказ, сглаживать нехарактерные колебания (из-за недостатка информации или неточности внесения статистических данных). Знание законов позволяет выполнять контроль уровня надежности, выявлять возможности повышения уровня надежности, прогнозировать изменения уровня надежности в будущих интервалах технического ресурса.

При проверке наиболее характерных законов эксплуатационной надежности для элементов а/с БелАЗ 75131 с наибольшей точностью подходит закон Вейбулла-Гнеденко. Этот закон описывает наработки на отказ изделий, у которых отказы наступают по причине усталостного разрушения, износа, старения с одновременным периодическим действием внезапных факторов (природно-климатических, дорожных, условий перевозки и др.).

Полученные значения параметров закона Вейбулла-Гнеденко, по формулам (2.18–2.20), представлены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Теоретические данные

Элемент	Параметр формы ( $b$ )	Значение гамма-функции $\Gamma(1+1/b)$	Параметр масштаба ( $a$ ), тыс. км	$f_T(L)$	$F_T(L)$	$P_T(L)$
1	1,0205	0,9917	0,61	1,182	0,276	0,72
				0,685	0,588	0,41
				0,390	0,768	0,23
				0,221	0,870	0,13
				0,124	0,927	0,07
				0,069	0,959	0,04
				0,039	0,977	0,02
				0,022	0,987	0,01
				0,012	0,993	0,01
12	0,9103	1,0457	0,79	0,822	0,347	0,65
				0,388	0,662	0,34
				0,200	0,818	0,18
				0,107	0,900	0,10
				0,059	0,944	0,06
				0,033	0,968	0,03
				0,018	0,982	0,02
				0,010	0,990	0,01
				0,272	0,473	0,53
13	0,8003	1,1327	1,73	0,102	0,759	0,24
				0,047	0,878	0,12
				0,017	0,952	0,05
				0,007	0,980	0,02
				0,410	0,344	0,66
17	0,9618	1,0175	1,59	0,194	0,677	0,32
				0,095	0,838	0,16
				0,034	0,942	0,06
				0,012	0,979	0,02
				0,462	0,185	0,82
2	1,1128	0,9613	1,67	0,332	0,479	0,52
				0,217	0,678	0,32
				0,136	0,806	0,19

Элемент	Параметр формы ( <i>b</i> )	Значение гамма-функции $\Gamma(1+1/b)$	Параметр масштаба ( <i>a</i> ), тыс.км	$f_{\text{T}}(L)$	$F_{\text{T}}(L)$	$P_{\text{T}}(L)$
				0,083	0,885	0,11
				0,049	0,933	0,07
				0,029	0,961	0,04
22	1,1389	0,9544	1,93	0,398	0,179	0,82
				0,292	0,478	0,52
				0,190	0,684	0,32
				0,117	0,814	0,19
				0,070	0,893	0,11
				0,041	0,939	0,06
				0,432	0,522	0,48
3	0,6848	1,2933	0,87	0,145	0,777	0,22
				0,067	0,879	0,12
				0,036	0,929	0,07
				0,020	0,957	0,04
				0,009	0,978	0,02
				0,460	0,656	0,34
4	0,6165	1,4536	0,44	0,115	0,871	0,13
				0,045	0,939	0,06
				0,021	0,968	0,03
				0,005	0,991	0,01
				1,613	0,371	0,63
40	1,0419	0,9837	0,39	0,770	0,711	0,29
				0,353	0,870	0,13
				0,159	0,942	0,06
				0,070	0,975	0,03
				0,031	0,989	0,01
				0,013	0,995	0,00
				0,004	0,999	0,00
				0,668	0,444	0,56
41	0,851	1,0871	0,78	0,245	0,761	0,24
				0,106	0,889	0,11
				0,049	0,946	0,05
				0,024	0,973	0,03
				0,012	0,986	0,01
				0,004	0,995	0,01
				0,404	0,538	0,46
45	0,635	1,403	0,84	0,128	0,784	0,22
				0,043	0,906	0,09
				0,014	0,962	0,04
				0,451	0,209	0,79
5	1,0644	0,9759	1,71	0,299	0,510	0,49
				0,187	0,704	0,30
				0,114	0,823	0,18
				0,053	0,919	0,08
				0,024	0,964	0,04
				0,349	0,544	0,46
6	0,7465	1,1953	1,06	0,103	0,824	0,18
				0,041	0,920	0,08
				0,019	0,961	0,04
				0,003	0,992	0,01
				1,188	0,365	0,63
7	0,8795	1,0175	0,52	0,561	0,662	0,34
				0,296	0,811	0,19
				0,164	0,891	0,11

Элемент	Параметр формы ( <i>b</i> )	Значение гамма-функции $\Gamma(1+1/b)$	Параметр масштаба ( <i>a</i> ), тыс.км	$f_{\text{T}}(L)$	$F_{\text{T}}(L)$	$P_{\text{T}}(L)$
				0,093	0,936	0,06
				0,054	0,962	0,04
				0,024	0,982	0,02
				0,011	0,992	0,01
70	1,3286	0,9197	0,28	2,589	0,200	0,80
				2,151	0,497	0,50
				1,418	0,714	0,29
				0,829	0,849	0,15
				0,446	0,925	0,08
				0,225	0,964	0,04
				0,107	0,984	0,02
				0,049	0,993	0,01
				0,021	0,997	0,00
				0,009	0,999	0,00
73	0,7274	1,2221	1,11	0,363	0,512	0,49
				0,117	0,790	0,21
				0,051	0,895	0,11
				0,025	0,943	0,06
				0,013	0,968	0,03
				0,006	0,985	0,01
76	1,1389	0,9544	0,31	2,352	0,275	0,73
				1,535	0,581	0,42
				0,900	0,769	0,23
				0,501	0,877	0,12
				0,269	0,936	0,06
				0,141	0,967	0,03
				0,072	0,984	0,02
				0,036	0,992	0,01
				0,018	0,996	0,00
8	1,0419	0,9837	1,12	0,639	0,284	0,72
				0,358	0,615	0,38
				0,193	0,797	0,20
				0,102	0,894	0,11
				0,053	0,945	0,05
				0,028	0,972	0,03
				0,010	0,990	0,01
				0,725	0,315	0,69
9	0,9439	1,0266	0,94	0,377	0,623	0,38
				0,207	0,788	0,21
				0,116	0,879	0,12
				0,050	0,947	0,05
				0,022	0,976	0,02
				0,013	0,986	0,01
				1,056	0,264	0,74
92	1,0205	0,9917	0,69	0,636	0,566	0,43
				0,376	0,746	0,25
				0,221	0,852	0,15
				0,129	0,914	0,09
				0,075	0,950	0,05
				0,044	0,971	0,03
				0,019	0,987	0,01
				0,545	0,275	0,72
100	0,9804	1,0086	1,33	0,300	0,593	0,41
				0,168	0,769	0,23

Элемент	Параметр формы ( $b$ )	Значение гамма-функции $\Gamma(1+1/b)$	Параметр масштаба ( $a$ ), тыс.км	$f_{\text{T}}(L)$	$F_{\text{T}}(L)$	$P_{\text{T}}(L)$
				0,095	0,869	0,13
				0,054	0,925	0,07
				0,031	0,957	0,04
				0,018	0,975	0,02
102	1,0419	0,9837	1,82	0,425	0,216	0,78
				0,275	0,515	0,49
				0,171	0,704	0,30
				0,105	0,821	0,18
				0,064	0,892	0,11
				0,038	0,936	0,06
				0,023	0,962	0,04

Используя представленную выше методику, выполним проверку согласия между эмпирическим и принятым теоретическим законом по критерию согласия  $\chi^2_{\alpha,k}$  (критерию Пирсона) (таблица 2.11).

Таблица 2.11 – Расчет критерия согласия для закона Вейбулла-Гнеденко

Элемент	$P_j$	$nP_j$	$m_j - nP_j$	$(m_j - nP_j)^2$	$(m_j - nP_j)^2 / nP_j$	$\chi^2_{\alpha,k \text{ расч}}$	$\chi^2_{\alpha,k \text{ табл}}$	Уровень ошибки ( $\alpha$ )
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,40	65,53	10,47	109,64	1,67	12,02	14,4	0,05
	0,23	38,01	-0,01	0,00	0,00			
	0,13	21,65	-1,65	2,72	0,13			
	0,08	12,23	2,77	7,66	0,63			
	0,04	6,88	-2,88	8,28	1,20			
	0,02	3,85	-0,85	0,73	0,19			
	0,01	2,15	-0,15	0,02	0,01			
	0,01	1,20	-0,20	0,04	0,03			
	0,00	0,67	2,33	5,44	8,16			
12	0,45	57,10	15,90	252,76	4,43	10,15	12,8	0,05
	0,21	26,98	-4,98	24,76	0,92			
	0,11	13,91	3,09	9,56	0,69			
	0,06	7,44	-2,44	5,95	0,80			
	0,03	4,07	-1,07	1,14	0,28			
	0,02	2,26	-1,26	1,59	0,70			
	0,01	1,27	-0,27	0,07	0,06			
	0,01	0,72	1,28	10,74	2,27			
13	0,46	12,00	6,00	36,02	3,00	5,37	7,4	0,05
	0,17	4,50	0,50	0,25	0,05			
	0,08	2,07	-1,07	1,14	0,55			
	0,03	0,74	0,26	0,07	0,09			
	0,01	0,30	0,70	0,50	1,68			
17	0,48	13,80	0,20	0,04	0,00	2,44	7,4	0,05
	0,23	6,53	2,47	6,11	0,94			
	0,11	3,21	-0,21	0,04	0,01			
	0,04	1,14	0,86	0,74	0,65			
	0,01	0,41	0,59	0,35	0,84			
2	0,34	18,69	3,31	10,94	0,59	13,30	13,30	0,1
	0,24	13,45	-3,45	11,89	0,88			
	0,16	8,77	-3,77	14,23	1,62			
	0,10	5,49	0,51	0,26	0,05			
	0,06	3,35	5,52	30,47	9,09			

Элемент	$P_j$	$nP_j$	$m_j - nP_j$	$(m_j - nP_j)^2$	$(m_j - nP_j)^2 / nP_j$	$\chi^2_{\alpha,k \text{ расч}}$	$\chi^2_{\alpha,k \text{ табл}}$	Уровень ошибки ( $\alpha$ )
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0,04	2,00	-1,00	1,01	0,50			
	0,02	1,18	0,82	0,67	0,57			
22	0,34	10,60	0,40	0,16	0,02			
	0,25	7,79	-1,79	3,20	0,41			
	0,16	5,06	-2,06	4,26	0,84			
	0,10	3,12	2,88	8,27	2,65			
	0,06	1,86	-0,86	0,75	0,40			
	0,04	1,09	2,02	4,04	3,74			
3	0,44	19,80	10,20	104,08	5,26			
	0,15	6,66	1,34	1,81	0,27			
	0,07	3,09	-1,09	1,19	0,38			
	0,04	1,63	0,37	0,14	0,09			
	0,02	0,92	0,08	0,01	0,01			
	0,01	0,43	1,45	2,10	4,88			
4	0,42	55,57	4,08	16,67	0,3			
	0,11	13,91	6,09	37,12	2,67			
	0,04	5,46	-3,46	11,94	2,19			
	0,02	2,54	-0,54	0,30	0,12			
	0,00	0,54	1,46	2,12	3,90			
40	0,48	91,41	21,59	466,19	5,1			
	0,23	43,66	-1,66	2,77	0,06			
	0,10	20,01	-6,01	36,16	1,81			
	0,05	8,99	-1,99	3,98	0,44			
	0,02	3,99	-2,99	8,95	2,24			
	0,01	1,75	0,25	0,06	0,03			
	0,00	0,76	1,24	1,53	1,99			
	0,00	0,22	0,78	0,62	2,87			
41	0,52	56,17	15,83	250,57	4,46			
	0,19	20,61	-3,61	13,01	0,63			
	0,08	8,93	2,07	4,28	0,48			
	0,04	4,15	0,85	0,72	0,17			
	0,02	2,01	-1,01	1,03	0,51			
	0,01	1,01	0,99	0,99	0,98			
	0,00	0,37	0,63	0,40	1,07			
45	0,44	8,79	6,21	38,60	4,39			
	0,14	2,77	-0,77	0,60	0,22			
	0,05	0,93	0,07	0,00	0,00			
	0,02	0,31	0,50	0,25	0,82			
5	0,36	12,39	-2,39	5,72	0,46			
	0,24	8,21	4,79	22,98	2,80			
	0,15	5,13	-0,13	0,02	0,00			
	0,09	3,13	-1,13	1,28	0,41			
	0,04	1,46	-0,46	0,21	0,14			
	0,02	0,66	2,19	4,78	7,24			
6	0,50	35,83	12,23	149,77	4,18			
	0,15	10,61	2,39	5,73	0,54			
	0,06	4,24	-3,24	10,47	2,47			
	0,03	1,91	1,09	1,19	0,62			
	0,00	0,34	0,66	0,44	1,28			
7	0,43	68,20	25,80	665,83	9,76			
	0,20	32,22	-5,22	27,20	0,84			
	0,11	16,99	-2,99	8,95	0,53			
	0,06	9,39	-1,39	1,93	0,21			
	0,03	5,34	3,66	13,42	2,51			

Элемент	$P_j$	$nP_j$	$m_j - nP_j$	$(m_j - nP_j)^2$	$(m_j - nP_j)^2 / nP_j$	$\chi^2_{\alpha,k \text{ расч}}$	$\chi^2_{\alpha,k \text{ табл}}$	Уровень ошибки ( $\alpha$ )
1	2	3	4	5	6	7	8	9
70	0,02	3,09	0,91	0,82	0,26	18,5	18,5	0,1
	0,01	1,40	0,60	0,36	0,26			
	0,00	0,65	0,35	0,12	0,18			
	0,32	110,56	3,44	11,82	0,11			
	0,26	91,83	-18,08	326,91	3,56			
	0,17	60,53	-14,62	213,67	3,53			
	0,10	35,39	9,74	94,84	2,68			
	0,05	19,04	-2,04	4,16	0,22			
	0,03	9,60	-4,92	24,29	2,53			
	0,01	4,58	2,42	5,85	1,28			
73	0,01	2,09	-1,09	1,18	0,57	6,67	9,4	0,05
	0,00	0,91	1,41	2,01	2,2			
	0,00	0,38	0,83	0,69	1,84			
	0,49	24,78	10,22	104,37	4,21			
	0,16	7,98	0,02	0,00	0,00			
	0,07	3,49	-0,49	0,24	0,07			
76	0,03	1,72	0,28	0,08	0,05	16,79	16,8	0,1
	0,02	0,91	1,09	1,20	1,32			
	0,01	0,38	0,62	0,39	1,02			
	0,37	81,56	15,44	238,26	2,92			
	0,24	53,23	10,59	112,32	2,11			
	0,14	31,21	-8,82	77,71	2,49			
	0,08	17,37	0,63	0,39	0,02			
	0,04	9,34	-2,34	5,47	0,59			
	0,02	4,89	-2,89	8,36	1,71			
8	0,01	2,51	-1,51	2,28	0,91	4,10	11,1	0,05
	0,01	1,26	1,96	3,83	3,04			
	0,00	0,63	1,37	1,88	3,00			
	0,43	28,22	5,78	33,43	1,18			
	0,24	15,82	-2,82	7,92	0,50			
	0,13	8,52	-1,52	2,30	0,27			
	0,07	4,51	2,49	6,21	1,38			
9	0,04	2,36	-0,36	0,13	0,05	7,93	11,1	0,05
	0,02	1,22	-0,22	0,05	0,04			
	0,01	0,45	0,55	0,30	0,67			
	0,42	28,33	4,67	21,83	0,77			
	0,22	14,74	1,26	1,59	0,11			
	0,12	8,07	-1,07	1,15	0,14			
	0,07	4,52	1,48	2,19	0,49			
92	0,03	1,93	-0,93	0,87	0,45	10,37	12,80	0,05
	0,01	0,85	2,15	4,63	5,45			
	0,01	0,49	0,51	0,26	0,52			
	0,38	49,90	12,10	146,52	2,94			
	0,23	30,03	-8,03	64,47	2,15			
	0,14	17,76	4,24	17,98	1,01			
	0,08	10,42	-3,42	11,72	1,12			
	0,05	6,09	0,91	0,83	0,14			
100	0,03	3,54	2,46	6,03	1,70	3,13	11,1	0,05
	0,02	2,06	-0,06	0,00	0,00			
	0,01	0,91	1,09	1,19	1,31			
	0,42	23,65	0,35	0,12	0,01			
100	0,23	13,03	1,97	3,90	0,30	3,13	11,1	0,05
	0,13	7,31	-0,31	0,10	0,01			
	0,07	4,13	-1,13	1,28	0,31			

Элемент	$P_j$	$nP_j$	$m_j - nP_j$	$(m_j - nP_j)^2$	$(m_j - nP_j)^2 / nP_j$	$\chi^2_{\alpha,k \text{ расч}}$	$\chi^2_{\alpha,k \text{ табл}}$	Уровень ошибки ( $\alpha$ )
1	2	3	4	5	6	7	8	9
102	0,04	2,35	0,65	0,42	0,18	5,33	11,1	0,05
	0,02	1,34	0,66	0,44	0,33			
	0,01	0,77	1,23	1,52	1,99			
	0,37	13,94	3,06	9,35	0,67			
	0,24	9,01	-3,01	9,07	1,01			
	0,15	5,61	-1,61	2,60	0,46			
	0,09	3,44	1,56	2,43	0,71			

Из расчета критерия согласия видно, что для всех элементов закон Вейбулла-Гнеденко подтверждается с уровнем ошибки не более 0,1 (10 %).

### 2.3 Расчет показателей надежности для а/с БелАЗ 75306

Расчет точечных показателей надежности представлен в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Расчет точечных показателей надежности

Элемент	Всего отказов	$L_{cp}$ , тыс. мото-час.	$\sigma$ , тыс. мото-час.	$v$	$z$ , тыс. мото-час.	$S$	$\Delta L$ , тыс. мото-час.
1	442	0,76	0,75	0,99	5,787	9	0,58
2	42	2,41	2,66	1,10	12,634	7	1,8
3	91	2,59	2,27	0,88	7,716	8	0,96
4	48	1,63	1,50	0,93	4,930	7	0,7
5	42	2,13	1,58	0,74	5,862	7	0,84
6	123	2,02	1,74	0,86	5,933	8	0,74
7	250	1,05	1,06	1,01	3,964	9	0,44
8	90	2,41	2,11	0,87	6,930	8	0,87
9	45	3,43	3,13	0,91	9,456	7	1,35
11	42	2,20	2,39	1,08	9,659	6	1,38
12	301	0,76	0,84	1,11	7,571	8	0,76
13	59	2,35	2,12	0,90	9,086	7	1,3
17	207	0,87	0,88	1,01	4,384	9	0,49
22	189	1,28	1,68	1,31	10,152	9	1,13
40	252	0,38	0,24	0,64	1,195	9	0,13
41	97	1,60	1,90	1,19	6,307	8	0,79
45	20	3,03	3,15	1,04	9,655	4	1,61
70	500	0,36	0,28	0,77	1,249	10	0,12
71	23	6,29	3,86	0,61	13,546	6	2,26
73	154	1,31	1,20	0,92	4,289	9	0,48
76	326	0,32	0,22	0,70	1,301	10	0,13
84	39	1,72	1,50	0,87	5,909	7	0,84
92	144	1,45	1,29	0,89	5,157	9	0,57
100	29	4,44	3,57	0,80	11,619	6	1,94
101	24	7,65	4,65	0,61	14,019	5	2,34
102	45	5,04	3,98	0,79	11,444	7	1,63
700	59	6,53	4,82	0,74	14,140	7	2,02
701	74	3,84	3,54	0,92	13,801	8	1,73
702	28	6,35	4,62	0,73	13,356	6	2,23
705	23	8,11	5,21	0,64	13,799	6	2,3

Одной из основных целей системы технического обслуживания является обеспечение безотказной работы подвижного состава в пределах установленных периодичностей по воздействиям, включенным в перечень операций [6], т. е. в период между очередными (смежными) техническими воздействиями. Таким образом, автосамосвал будет считаться безотказным, если между очередными ТО не будут фиксироваться отказы и неисправности, кроме внезапных (причиной которых является внезапное изменение технического состояния). Нами были проанализированы данные об изменении коэффициента технической готовности парка и уровня безотказности за 2018 год (таблица 2.13, рисунок 2.4).

Таблица 2.13 – Сравнение величин готовности парка

Номер автосамосвала																	
201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	214	215	216	217	218	
Коэффициент технической готовности (средний за год)																	
0,75	0,73	0,80	0,81	0,92	0,88	0,88	0,73	0,88	0,80	0,87	0,87	0,81	0,84	0,91	0,87	0,80	
Уровень безотказности (средний за год), в долях от периодичности ТО																	
0,34	0,61	0,39	0,47	0,61	0,46	0,41	0,52	0,52	0,42	0,44	0,36	0,43	0,46	0,39	0,46	0,37	
Номер автосамосвала																	
219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	
Коэффициент технической готовности (средний за год)																	
0,87	0,92	0,92	0,94	0,95	0,94	0,95	0,95	0,94	0,94	0,95	0,96	0,91	0,95	0,96	0,94	0,98	
Уровень безотказности (средний за год), в долях от периодичности ТО																	
0,50	0,36	0,50	0,66	0,54	0,49	0,34	0,42	0,47	0,62	0,70	0,68	0,67	0,56	0,52	0,72	0,75	

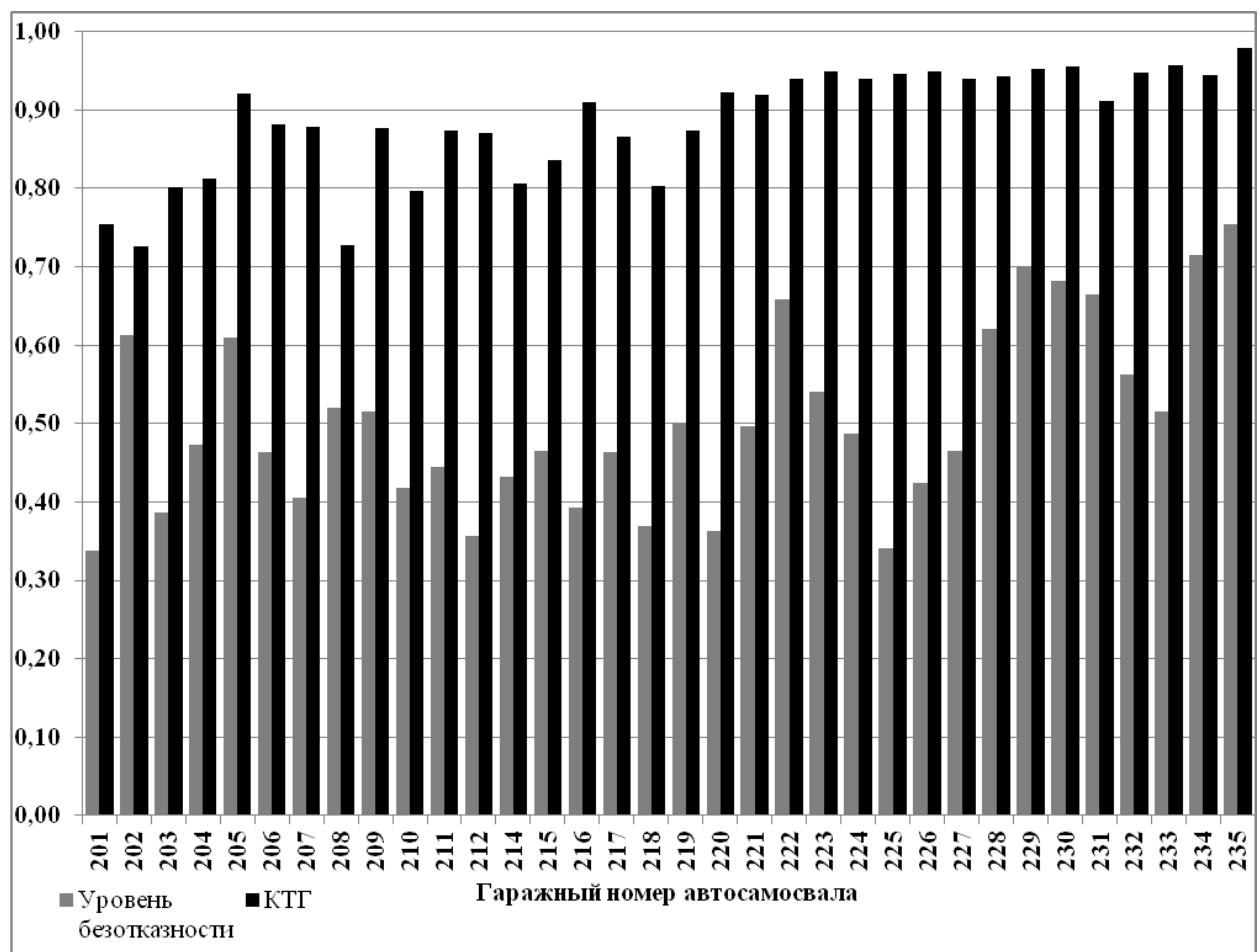


Рисунок 2.4 – Сравнение величин готовности парка

Как видно из графика отсутствует прямая связь между коэффициентом технической готовности и уровень безотказности, т. е. частые и не продолжительные простой в системе ТО и Р позволяют иметь значительный уровень к.т.г., но не позволяет обеспечивать достижение одну из целей системы ТО и Р.

Проводится разбивка вариационных рядов на интервалы с определением их границ и определяется частота ( $m_j$ ) попадания наработок на отказ в каждый интервал (таблица 2.14).

Таблица 2.14 – Интервалы вариационных рядов. Частота попадания

Элемент	Номер интервала ( $j$ )	Границы интервалов, тыс. мото-час		Середины интервалов ( $L_j$ ), тыс. мото-час	Частоты, попавшие в интервал ( $m_j$ )
		левая	правая		
1	1	0,03	0,61	0,32	244
	2	0,61	1,19	0,90	108
	3	1,19	1,77	1,48	49
	4	1,77	2,35	2,06	24
	5	2,35	2,93	2,64	6
	6	2,93	3,50	3,21	7
	7	3,50	4,37	3,79	2
	8	4,37	5,24	4,66	1
	9	5,24	5,82	5,53	1
2	1	0,03	1,84	0,94	23
	2	1,84	3,64	2,74	9
	3	3,64	5,45	4,55	5
	4	5,45	7,25	6,35	4
	5	7,25	9,06	8,16	0
	6	9,06	10,86	9,96	0
	7	10,86	12,67	11,77	1
3	1	0,04	1,00	0,52	34
	2	1,00	1,97	1,48	11
	3	1,97	2,93	2,45	10
	4	2,93	3,90	3,41	11
	5	3,90	4,86	4,38	7
	6	4,86	5,82	5,34	6
	7	5,82	6,79	6,31	7
	8	6,79	7,75	7,27	5
4	1	0,03	0,74	0,38	18
	2	0,74	1,44	1,09	10
	3	1,44	2,14	1,79	5
	4	2,14	2,85	2,50	5
	5	2,85	3,55	3,20	1
	6	3,55	4,26	3,91	6
	7	4,26	4,96	4,61	3
5	1	0,04	0,87	0,46	14
	2	0,87	1,71	1,29	5
	3	1,71	2,55	2,13	6
	4	2,55	3,39	2,97	7
	5	3,39	4,22	3,81	6
	6	4,22	5,06	4,64	3
	7	5,06	5,90	5,48	1
6	1	0,05	0,79	0,42	41
	2	0,79	1,54	1,17	22
	3	1,54	2,28	1,91	16

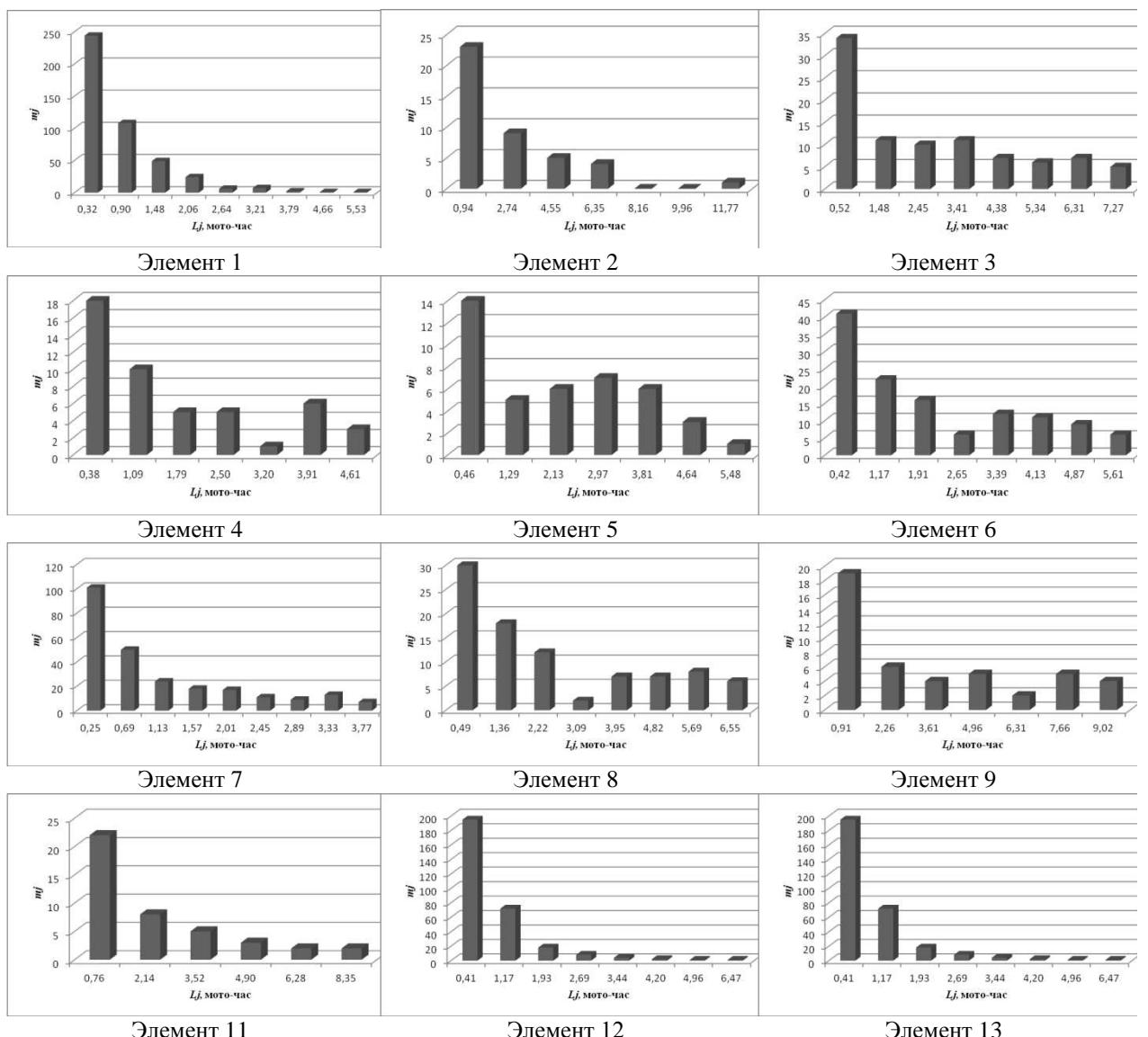
Элемент	Номер интервала ( $j$ )	Границы интервалов, тыс. мото-час		Середины интервалов ( $L_j$ ), тыс. мото-час	Частоты, попавшие в интервал ( $m_j$ )
		левая	правая		
4	4	2,28	3,02	2,65	6
	5	3,02	3,76	3,39	12
	6	3,76	4,50	4,13	11
	7	4,50	5,24	4,87	9
	8	5,24	5,99	5,61	6
7	1	0,03	0,47	0,25	101
	2	0,47	0,91	0,69	50
	3	0,91	1,35	1,13	24
	4	1,35	1,79	1,57	18
	5	1,79	2,23	2,01	17
	6	2,23	2,67	2,45	11
	7	2,67	3,11	2,89	9
	8	3,11	3,55	3,33	13
	9	3,55	3,99	3,77	7
8	1	0,06	0,92	0,49	30
	2	0,92	1,79	1,36	18
	3	1,79	2,65	2,22	12
	4	2,65	3,52	3,09	2
	5	3,52	4,39	3,95	7
	6	4,39	5,25	4,82	7
	7	5,25	6,12	5,69	8
	8	6,12	6,99	6,55	6
9	1	0,24	1,59	0,91	19
	2	1,59	2,94	2,26	6
	3	2,94	4,29	3,61	4
	4	4,29	5,64	4,96	5
	5	5,64	6,99	6,31	2
	6	6,99	8,34	7,66	5
	7	8,34	9,69	9,02	4
11	1	0,07	1,45	0,76	22
	2	1,45	2,83	2,14	8
	3	2,83	4,21	3,52	5
	4	4,21	5,59	4,90	3
	5	5,59	7,66	6,28	2
	6	7,66	9,73	8,35	2
12	1	0,04	0,79	0,41	195
	2	0,79	1,55	1,17	72
	3	1,55	2,31	1,93	18
	4	2,31	3,06	2,69	8
	5	3,06	3,82	3,44	4
	6	3,82	4,58	4,20	2
	7	4,58	6,09	4,96	1
	8	6,09	7,61	6,47	1
13	1	0,04	1,34	0,69	24
	2	1,34	2,64	1,99	18
	3	2,64	3,94	3,29	8
	4	3,94	5,23	4,59	3
	5	5,23	6,53	5,88	2
	6	6,53	7,83	7,18	1
	7	7,83	9,13	8,48	3
17	1	0,04	0,53	0,28	106
	2	0,53	1,01	0,77	41
	3	1,01	1,50	1,26	20
	4	1,50	1,99	1,74	19
	5	1,99	2,47	2,23	9
	6	2,47	2,96	2,72	4
	7	2,96	3,45	3,21	1

Элемент	Номер интервала ( <i>j</i> )	Границы интервалов, тыс. мото- час		Середины интервалов ( <i>L<sub>j</sub></i> ), тыс. мото-час	Частоты, попавшие в интервал ( <i>m<sub>j</sub></i> )
		левая	правая		
		8	3,45	3,94	3,69
22	9	3,94		4,42	4,18
	1	0,03		1,16	0,60
	2	1,16		2,29	1,72
	3	2,29		3,42	2,85
	4	3,42		4,54	3,98
	5	4,54		5,67	5,11
	6	5,67		6,80	6,24
	7	6,80		7,93	7,36
	8	7,93		9,06	8,49
	9	9,06		10,18	9,62
40	1	0,03		0,16	0,10
	2	0,16		0,30	0,23
	3	0,30		0,43	0,36
	4	0,43		0,56	0,49
	5	0,56		0,69	0,63
	6	0,69		0,83	0,76
	7	0,83		0,96	0,89
	8	0,96		1,09	1,03
	9	1,09		1,22	1,16
	10	1,22		1,35	1,28
41	1	0,04		0,83	0,44
	2	0,83		1,62	1,22
	3	1,62		2,41	2,01
	4	2,41		3,19	2,80
	5	3,19		3,98	3,59
	6	3,98		4,77	4,38
	7	4,77		5,56	5,17
	8	5,56		6,35	5,95
45	1	0,04		1,64	0,84
	2	1,64		3,25	2,45
	3	3,25		7,03	4,06
	4	7,03		10,03	7,83
70	1	0,03		0,16	0,09
	2	0,16		0,28	0,22
	3	0,28		0,41	0,34
	4	0,41		0,53	0,47
	5	0,53		0,66	0,59
	6	0,66		0,78	0,72
	7	0,78		0,91	0,84
	8	0,91		1,03	0,97
	9	1,03		1,16	1,09
	10	1,16		1,28	1,22
71	1	0,29		2,54	1,41
	2	2,54		4,80	3,67
	3	4,80		7,06	5,93
	4	7,06		9,32	8,19
	5	9,32		11,57	10,44
	6	11,57		13,83	12,70
73	1	0,04		0,52	0,28
	2	0,52		0,99	0,75
	3	0,99		1,47	1,23
	4	1,47		1,95	1,71
	5	1,95		2,42	2,18
	6	2,42		2,90	2,66
	7	2,90		3,38	3,14
	8	3,38		3,85	3,61
	9	3,85		4,33	4,09

Элемент	Номер интервала ( <i>j</i> )	Границы интервалов, тыс. мото-час		Середины интервалов ( <i>L<sub>j</sub></i> ), тыс. мото-час	Частоты, попавшие в интервал ( <i>m<sub>j</sub></i> )
		левая	правая		
76	1	0,04	0,17	0,10	91
	2	0,17	0,30	0,23	130
	3	0,30	0,43	0,36	40
	4	0,43	0,56	0,49	18
	5	0,56	0,69	0,62	27
	6	0,69	0,82	0,75	5
	7	0,82	0,95	0,88	7
	8	0,95	1,08	1,01	2
	9	1,08	1,21	1,14	4
	10	1,21	1,34	1,27	2
84	1	0,06	0,91	0,48	14
	2	0,91	1,75	1,33	11
	3	1,75	2,59	2,17	6
	4	2,59	3,44	3,02	3
	5	3,44	4,28	3,86	1
	6	4,28	5,13	4,70	2
	7	5,13	5,97	5,55	2
92	1	0,04	0,61	0,32	49
	2	0,61	1,18	0,90	28
	3	1,18	1,76	1,47	19
	4	1,76	2,33	2,04	15
	5	2,33	2,90	2,61	11
	6	2,90	3,47	3,19	8
	7	3,47	4,05	3,76	8
	8	4,05	4,62	4,33	3
	9	4,62	5,19	4,91	3
100	1	0,06	2,00	1,03	8
	2	2,00	3,94	2,97	7
	3	3,94	5,87	4,91	4
	4	5,87	7,81	6,84	2
	5	7,81	9,75	8,78	6
	6	9,75	11,68	10,72	2
101	1	0,33	2,67	1,50	5
	2	2,67	6,17	3,84	4
	3	6,17	9,68	7,34	5
	4	9,68	12,02	10,85	5
	5	12,02	14,35	13,18	5
102	1	0,29	1,93	1,11	15
	2	1,93	3,56	2,75	7
	3	3,56	5,20	4,38	3
	4	5,20	6,83	6,02	3
	5	6,83	8,47	7,65	4
	6	8,47	10,10	9,29	7
	7	10,10	11,74	10,92	6
700	1	0,07	2,09	1,08	15
	2	2,09	4,11	3,10	9
	3	4,11	6,13	5,12	7
	4	6,13	8,15	7,14	3
	5	8,15	10,17	9,16	9
	6	10,17	12,19	11,18	3
	7	12,19	14,21	13,20	13
701	1	0,03	1,76	0,89	29
	2	1,76	3,48	2,62	10
	3	3,48	5,21	4,34	16
	4	5,21	6,93	6,07	7
	5	6,93	8,66	7,79	3
	6	8,66	10,38	9,52	2

Элемент	Номер интервала ( $j$ )	Границы интервалов, тыс. мото-час		Середины интервалов ( $L_j$ ), тыс. мото-час	Частоты, попавшие в интервал ( $m_j$ )
		левая	правая		
702	7	10,38	12,11	11,24	5
	8	12,11	13,83	12,97	2
702	1	0,06	2,28	1,17	9
	2	2,28	4,51	3,39	2
	3	4,51	6,73	5,62	2
	4	6,73	8,96	7,85	5
	5	8,96	11,18	10,07	5
	6	11,18	13,41	12,30	5
705	1	0,15	2,45	1,30	5
	2	2,45	4,75	3,60	2
	3	4,75	7,05	5,90	2
	4	7,05	9,35	8,20	3
	5	9,35	11,65	10,50	2
	6	11,65	13,95	12,80	9

Графическое представление частоты попадания отказов в интервал технического ресурса представлено на рисунке 2.5.



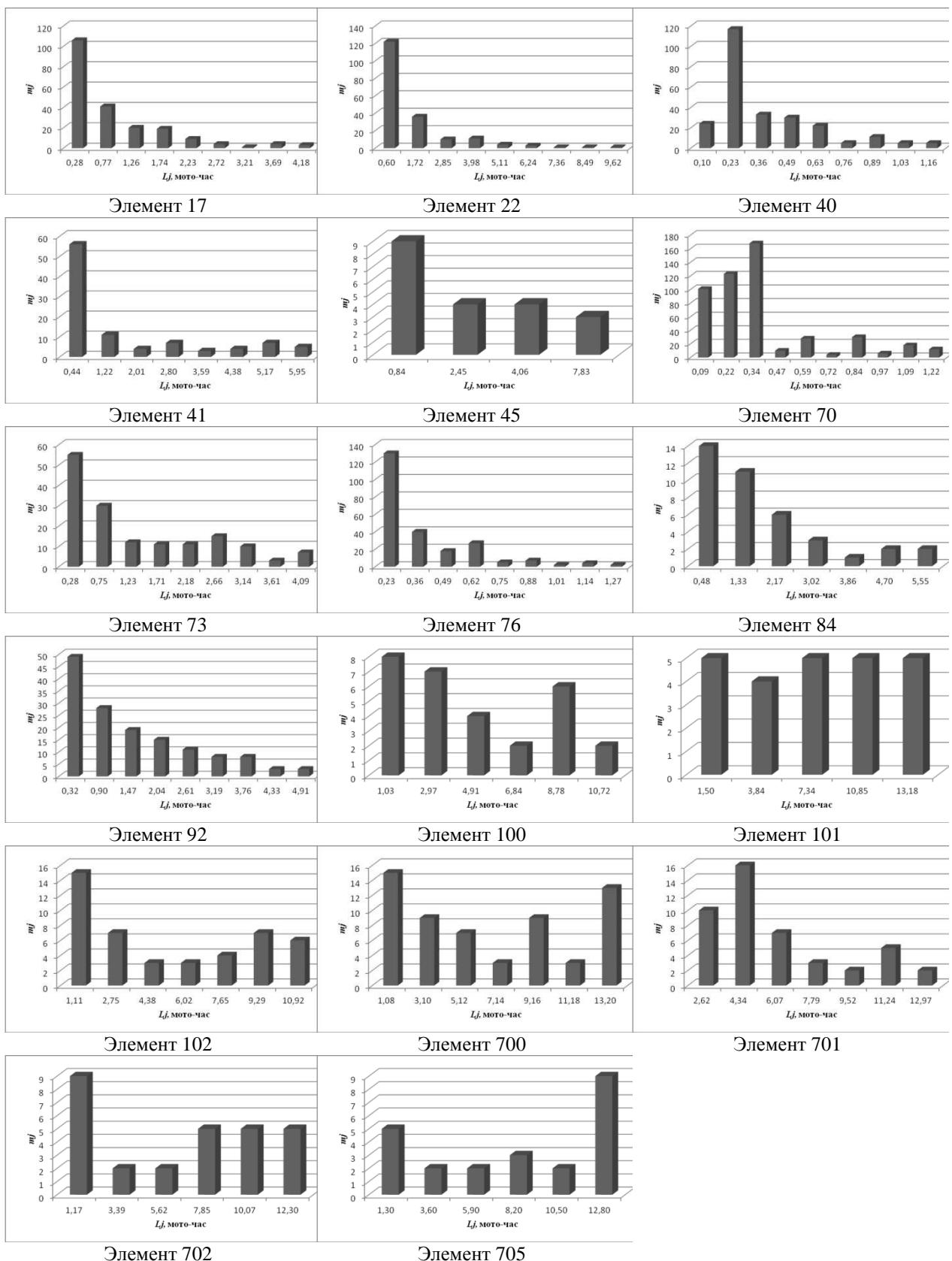


Рисунок 2.5 – Частоты попадания отказов в интервалы технического ресурса

Анализируя представленные выше графики можно сделать вывод о том, что значительная доля отказов практически по всем выделенным элементам происходит в период 500 – 1000 мото-часов.

Вычисляются эмпирические (статистические) плотность распределения ( $f_3(L)$ ) по формуле (2.8), функция распределения ( $F_3(L)$ ) по формуле (2.9), вероятность безотказной работы ( $P_3(L)$ ) по формуле (2.10). Полученные в результате расчета данные сводятся в таблицу 2.15.

Таблица 2.15 – Эмпирические данные

Элемент	$f_3(L)$	$F_3(L)$	$P_3(L)$
1	0,862	0,344	0,66
	0,403	0,693	0,31
	0,188	0,857	0,14
	0,088	0,933	0,07
	0,041	0,969	0,03
	0,019	0,985	0,01
	0,009	0,993	0,01
	0,003	0,998	0,00
	0,001	0,999	0,00
2	0,281	0,322	0,68
	0,133	0,679	0,32
	0,063	0,848	0,15
	0,030	0,928	0,07
	0,014	0,966	0,03
	0,007	0,984	0,02
	0,003	0,992	0,01
3	0,316	0,182	0,82
	0,218	0,437	0,56
	0,150	0,612	0,39
	0,103	0,733	0,27
	0,071	0,816	0,18
	0,049	0,873	0,13
	0,034	0,913	0,09
	0,023	0,940	0,06
4	0,486	0,211	0,79
	0,315	0,488	0,51
	0,204	0,668	0,33
	0,132	0,785	0,22
	0,086	0,861	0,14
	0,056	0,910	0,09
	0,036	0,941	0,06
5	0,379	0,193	0,81
	0,256	0,455	0,54
	0,173	0,632	0,37
	0,116	0,752	0,25
	0,079	0,833	0,17
	0,053	0,887	0,11
	0,036	0,924	0,08
6	0,401	0,189	0,81
	0,278	0,438	0,56
	0,193	0,611	0,39
	0,133	0,730	0,27
	0,092	0,813	0,19
	0,064	0,870	0,13
	0,044	0,910	0,09
	0,031	0,938	0,06
7	0,749	0,212	0,79
	0,493	0,481	0,52
	0,324	0,659	0,34
	0,213	0,775	0,22
	0,140	0,852	0,15
	0,092	0,903	0,10
	0,061	0,936	0,06
	0,040	0,958	0,04
	0,026	0,972	0,03
8	0,338	0,184	0,82
	0,236	0,430	0,57
	0,165	0,602	0,40
	0,115	0,722	0,28
	0,080	0,806	0,19
	0,056	0,864	0,14
	0,039	0,905	0,09
	0,027	0,934	0,07

Элемент	$f_3(L)$	$F_3(L)$	$P_3(L)$
9	0,223	0,233	0,77
	0,151	0,482	0,52
	0,102	0,651	0,35
	0,069	0,764	0,24
	0,046	0,841	0,16
	0,031	0,893	0,11
	0,021	0,928	0,07
11	0,322	0,291	0,71
	0,172	0,621	0,38
	0,092	0,797	0,20
	0,049	0,892	0,11
	0,026	0,942	0,06
	0,010	0,977	0,02
12	0,764	0,422	0,58
	0,281	0,787	0,21
	0,103	0,922	0,08
	0,038	0,971	0,03
	0,014	0,989	0,01
	0,005	0,996	0,00
	0,002	0,999	0,00
	0,000	1,000	0,00
13	0,317	0,255	0,74
	0,183	0,572	0,43
	0,105	0,754	0,25
	0,060	0,858	0,14
	0,035	0,919	0,08
	0,020	0,953	0,05
	0,011	0,973	0,03
17	0,829	0,277	0,72
	0,474	0,586	0,41
	0,271	0,763	0,24
	0,155	0,864	0,14
	0,089	0,922	0,08
	0,051	0,956	0,04
	0,029	0,975	0,03
	0,017	0,985	0,01
22	0,010	0,992	0,01
	0,489	0,372	0,63
	0,203	0,739	0,26
	0,084	0,892	0,11
	0,035	0,955	0,05
	0,015	0,981	0,02
	0,006	0,992	0,01
	0,003	0,997	0,00
40	0,001	0,999	0,00
	0,000	0,999	0,00
	2,032	0,223	0,78
	1,436	0,451	0,55
	1,015	0,612	0,39
	0,717	0,726	0,27
	0,507	0,806	0,19
	0,358	0,863	0,14
41	0,253	0,903	0,10
	0,179	0,932	0,07
	0,127	0,952	0,05
	0,477	0,239	0,76
	0,291	0,536	0,46
	0,178	0,717	0,28
	0,108	0,827	0,17
	0,066	0,895	0,11
45	0,040	0,936	0,06
	0,025	0,961	0,04
	0,015	0,976	0,02
	0,250	0,242	0,76
	0,147	0,554	0,45
70	0,086	0,738	0,26
	0,025	0,925	0,08
	2,119	0,229	0,77
	1,504	0,453	0,55
	1,067	0,612	0,39
	0,757	0,724	0,28
	0,537	0,804	0,20
	0,381	0,861	0,14

Элемент	$f_3(L)$	$F_3(L)$	$P_3(L)$
71	0,270	0,902	0,10
	0,192	0,930	0,07
	0,136	0,950	0,05
	0,097	0,965	0,04
	0,127	0,201	0,80
73	0,089	0,442	0,56
	0,062	0,610	0,39
	0,043	0,728	0,27
	0,030	0,810	0,19
	0,021	0,867	0,13
	0,618	0,191	0,81
	0,429	0,438	0,56
	0,298	0,610	0,39
	0,207	0,729	0,27
	0,144	0,811	0,19
76	0,100	0,869	0,13
	0,070	0,909	0,09
	0,048	0,937	0,06
	0,034	0,956	0,04
	2,293	0,275	0,73
	1,520	0,519	0,48
	1,007	0,682	0,32
	0,667	0,789	0,21
	0,442	0,860	0,14
	0,293	0,907	0,09
84	0,194	0,939	0,06
	0,129	0,959	0,04
	0,085	0,973	0,03
	0,056	0,982	0,02
	0,439	0,245	0,76
	0,269	0,537	0,46
	0,165	0,717	0,28
	0,101	0,826	0,17
	0,062	0,894	0,11
	0,038	0,935	0,07
92	0,023	0,960	0,04
	0,551	0,199	0,80
	0,372	0,460	0,54
	0,250	0,636	0,36
	0,169	0,755	0,25
	0,114	0,835	0,17
	0,077	0,888	0,11
	0,052	0,925	0,08
	0,035	0,949	0,05
	0,024	0,966	0,03
100	0,179	0,208	0,79
	0,115	0,488	0,51
	0,075	0,669	0,33
	0,048	0,786	0,21
	0,031	0,862	0,14
	0,020	0,911	0,09
101	0,107	0,178	0,82
	0,079	0,394	0,61
	0,050	0,617	0,38
	0,032	0,758	0,24
	0,023	0,821	0,18
102	0,159	0,198	0,80
	0,115	0,420	0,58
	0,083	0,581	0,42
	0,060	0,697	0,30
	0,043	0,781	0,22
	0,031	0,841	0,16
	0,023	0,885	0,11
700	0,130	0,153	0,85
	0,095	0,378	0,62
	0,070	0,544	0,46
	0,051	0,665	0,33
	0,038	0,754	0,25
	0,028	0,820	0,18
	0,020	0,868	0,13
701	0,206	0,207	0,79
	0,132	0,494	0,51
	0,084	0,677	0,32

Элемент	$f_3(L)$	$F_3(L)$	$P_3(L)$
702	0,054	0,794	0,21
	0,034	0,868	0,13
	0,022	0,916	0,08
	0,014	0,946	0,05
	0,009	0,966	0,03
	0,131	0,168	0,83
705	0,092	0,414	0,59
	0,065	0,587	0,41
	0,046	0,709	0,29
	0,032	0,795	0,20
	0,023	0,856	0,14
	0,105	0,148	0,85
705	0,079	0,359	0,64
	0,060	0,517	0,48
	0,045	0,636	0,36
	0,034	0,726	0,27
	0,025	0,794	0,21

При проверке наиболее характерных законов эксплуатационной надежности для элементов а/с БелАЗ 75306 с наибольшей точностью подходит закон Вейбулла-Гнеденко.

Полученные значения параметров закона Вейбулла-Гнеденко, по формулам (2.18–2.20), представлены в таблице 2.16.

Таблица 2.16 – Теоретические данные

Элемент	Параметр формы ( $b$ )	Значение гамма-функции $\Gamma(1+1/b)$	Параметр масштаба ( $a$ ), тыс.км	$f_T(L)$	$F_T(L)$	$P_T(L)$
1	1	1	0,7609287	0,862	0,344	0,66
				0,403	0,693	0,31
				0,188	0,857	0,14
				0,088	0,933	0,07
				0,041	0,969	0,03
				0,019	0,985	0,01
				0,009	0,993	0,01
				0,003	0,998	0,00
				0,001	0,999	0,00
2	0,9103	1,0457	2,306173	0,275	0,356	0,64
				0,121	0,690	0,31
				0,058	0,844	0,16
				0,029	0,919	0,08
				0,015	0,957	0,04
				0,008	0,977	0,02
				0,004	0,988	0,01
3	1,1389	0,9544	2,7120674	0,287	0,141	0,86
				0,233	0,396	0,60
				0,170	0,590	0,41
				0,118	0,727	0,27
				0,080	0,822	0,18
				0,053	0,885	0,11
				0,035	0,927	0,07
				0,022	0,954	0,05
4	1,0644	0,9759	1,6651915	0,471	0,189	0,81
				0,329	0,471	0,53
				0,218	0,661	0,34
				0,141	0,785	0,21
				0,090	0,865	0,13
				0,057	0,916	0,08
				0,036	0,948	0,05

Элемент	Параметр формы ( <i>b</i> )	Значение гамма-функции $\Gamma(1+1/b)$	Параметр масштаба ( <i>a</i> ), тыс.км	$f_{\text{T}}(L)$	$F_{\text{T}}(L)$	$P_{\text{T}}(L)$
5	1,367	0,915	2,3265871	0,290	0,102	0,90
				0,303	0,361	0,64
				0,234	0,588	0,41
				0,159	0,752	0,25
				0,099	0,859	0,14
				0,058	0,924	0,08
				0,032	0,960	0,04
6	1,1664	0,9479	2,1329385	0,359	0,141	0,86
				0,302	0,390	0,61
				0,223	0,584	0,42
				0,156	0,724	0,28
				0,106	0,820	0,18
				0,070	0,885	0,12
				0,046	0,927	0,07
7	0,9804	1,0086	1,0430245	0,029	0,955	0,05
				0,755	0,219	0,78
				0,486	0,487	0,51
				0,318	0,661	0,34
				0,209	0,776	0,22
				0,138	0,851	0,15
				0,092	0,901	0,10
				0,061	0,934	0,07
				0,040	0,956	0,04
8	1,1389	0,9544	2,5275618	0,027	0,971	0,03
				0,307	0,143	0,86
				0,253	0,388	0,61
				0,187	0,578	0,42
				0,132	0,715	0,28
				0,091	0,811	0,19
				0,061	0,876	0,12
				0,041	0,919	0,08
9	1,088	0,9685	3,5450427	0,027	0,948	0,05
				0,217	0,204	0,80
				0,160	0,458	0,54
				0,111	0,640	0,36
				0,075	0,764	0,24
				0,050	0,846	0,15
				0,032	0,901	0,10
11	0,9267	1,036	2,1261242	0,021	0,937	0,06
				0,320	0,319	0,68
				0,159	0,634	0,37
				0,085	0,797	0,20
				0,047	0,885	0,11
				0,026	0,935	0,07
12	0,8946	1,0567	0,7163601	0,011	0,971	0,03
				0,717	0,458	0,54
				0,251	0,788	0,21
				0,099	0,912	0,09
				0,042	0,962	0,04
				0,018	0,983	0,02
				0,008	0,992	0,01
				0,004	0,996	0,00
13	1,1128	0,9613	2,4405042	0,001	0,999	0,00
				0,309	0,218	0,78
				0,201	0,549	0,45
				0,117	0,752	0,25
				0,065	0,867	0,13

Элемент	Параметр формы ( <i>b</i> )	Значение гамма-функции $\Gamma(1+1/b)$	Параметр масштаба ( <i>a</i> ), тыс.км	$f_{\text{T}}(L)$	$F_{\text{T}}(L)$	$P_{\text{T}}(L)$
				0,035	0,930	0,07
				0,019	0,964	0,04
				0,010	0,982	0,02
17	0,9804	1,0086	0,8650308	0,830	0,284	0,72
				0,466	0,590	0,41
				0,266	0,764	0,24
				0,153	0,863	0,14
				0,088	0,920	0,08
				0,051	0,954	0,05
				0,030	0,973	0,03
				0,017	0,984	0,02
				0,010	0,991	0,01
				0,430	0,465	0,53
22	0,7669	1,1695	1,097789	0,153	0,757	0,24
				0,070	0,875	0,12
				0,035	0,932	0,07
				0,019	0,961	0,04
				0,011	0,977	0,02
				0,006	0,986	0,01
				0,004	0,992	0,01
				0,002	0,995	0,01
				1,401	0,088	0,91
				1,784	0,309	0,69
40	1,5997	0,8966	0,4266503	1,575	0,536	0,46
				1,154	0,718	0,28
				0,741	0,843	0,16
				0,427	0,919	0,08
				0,224	0,962	0,04
				0,109	0,983	0,02
				0,049	0,993	0,01
				0,487	0,305	0,69
				0,249	0,579	0,42
				0,147	0,731	0,27
41	0,8376	1,0981	1,4530983	0,092	0,823	0,18
				0,059	0,881	0,12
				0,039	0,919	0,08
				0,026	0,945	0,06
				0,018	0,962	0,04
				0,252	0,256	0,74
				0,142	0,563	0,44
				0,083	0,740	0,26
45	0,9618	1,0175	2,9793302	0,025	0,921	0,08
				2,212	0,252	0,75
				1,490	0,480	0,52
				1,028	0,635	0,37
				0,716	0,743	0,26
70	0,9618	1,0659	0,3415332	0,502	0,818	0,18
				0,354	0,871	0,13
				0,250	0,908	0,09
				0,177	0,935	0,07
				0,126	0,953	0,05
				0,090	0,967	0,03
				0,076	0,068	0,93
				0,109	0,288	0,71
				0,099	0,529	0,47
				0,072	0,723	0,28
71	1,6563	0,8939	7,0397265	0,045	0,854	0,15

Элемент	Параметр формы ( <i>b</i> )	Значение гамма-функции $\Gamma(1+1/b)$	Параметр масштаба ( <i>a</i> ), тыс.км	$f_{\text{T}}(L)$	$F_{\text{T}}(L)$	$P_{\text{T}}(L)$
				0,024	0,930	0,07
73	1,088	0,9685	1,3519237	0,585	0,164	0,84
				0,450	0,412	0,59
				0,323	0,595	0,41
				0,226	0,725	0,28
				0,156	0,815	0,19
				0,106	0,876	0,12
				0,071	0,918	0,08
				0,048	0,946	0,05
				0,032	0,964	0,04
				1,927	0,136	0,86
76	1,5469	0,8996	0,3515384	2,073	0,408	0,59
				1,571	0,649	0,35
				0,984	0,814	0,19
				0,536	0,911	0,09
				0,260	0,961	0,04
				0,114	0,984	0,02
				0,046	0,994	0,01
				0,017	0,998	0,00
				0,006	0,999	0,00
				0,421	0,200	0,80
84	1,1389	0,9544	1,8041829	0,299	0,506	0,49
				0,188	0,709	0,29
				0,113	0,834	0,17
				0,065	0,907	0,09
				0,037	0,949	0,05
				0,020	0,973	0,03
				0,517	0,164	0,84
92	1,1128	0,9613	1,5119655	0,397	0,428	0,57
				0,279	0,620	0,38
				0,188	0,753	0,25
				0,124	0,841	0,16
				0,081	0,899	0,10
				0,052	0,936	0,06
				0,033	0,960	0,04
				0,021	0,975	0,02
				0,154	0,136	0,86
				0,135	0,423	0,58
100	1,2583	0,93	4,7698251	0,094	0,645	0,35
				0,060	0,793	0,21
				0,036	0,884	0,12
				0,020	0,937	0,06
				0,058	0,054	0,95
				0,088	0,232	0,77
101	1,6563	0,8939	8,5635481	0,081	0,539	0,46
				0,051	0,772	0,23
				0,033	0,870	0,13
				0,135	0,127	0,87
				0,127	0,346	0,65
102	1,2583	0,93	5,4207435	0,102	0,535	0,47
				0,076	0,680	0,32
				0,054	0,786	0,21
				0,037	0,860	0,14
				0,025	0,911	0,09
				0,089	0,073	0,93
				0,102	0,274	0,73
700	1,367	0,915	7,1361213	0,090	0,470	0,53

Элемент	Параметр формы ( <i>b</i> )	Значение гамма-функции $\Gamma(1+1/b)$	Параметр масштаба ( <i>a</i> ), тыс.км	$f_{\text{T}}(L)$	$F_{\text{T}}(L)$	$P_{\text{T}}(L)$
				0,070	0,633	0,37
				0,051	0,755	0,24
				0,036	0,842	0,16
				0,024	0,902	0,10
701	1,088	0,9685	3,966489	0,197	0,179	0,82
				0,140	0,471	0,53
				0,092	0,668	0,33
				0,058	0,796	0,20
				0,036	0,876	0,12
				0,022	0,925	0,07
				0,013	0,955	0,04
				0,008	0,973	0,03
702	1,367	0,915	6,9422845	0,094	0,084	0,92
				0,104	0,313	0,69
				0,086	0,527	0,47
				0,063	0,693	0,31
				0,043	0,810	0,19
				0,027	0,888	0,11
705	1,5997	0,8966	9,0429927	0,053	0,044	0,96
				0,081	0,205	0,80
				0,083	0,397	0,60
				0,071	0,575	0,43
				0,054	0,719	0,28
				0,038	0,825	0,17

Используя представленную выше методику, выполним проверку согласия между эмпирическим и принятым теоретическим законом по критерию согласия  $\chi^2_{\alpha,k}$  (критерию Пирсона) (таблица 2.17).

Таблица 2.17 – Расчет критерия согласия для закона Вейбулла-Гнеденко

Элемент	$P_i$	$nP_i$	$m_i - nP_i$	$(m_i - nP_i)^2$	$(m_i - nP_i)^2 / nP_i$	$\chi^2_{\alpha,k \text{ расч}}$	$\chi^2_{\alpha,k \text{ табл}}$	Уровень ошибки ( $\alpha$ )
1	0,50	220,51	23,49	551,77	2,50	8,30	14,4	0,05
	0,23	103,07	4,93	24,34	0,24			
	0,11	48,17	0,83	0,68	0,01			
	0,05	22,52	1,48	2,20	0,10			
	0,02	10,52	-4,52	20,47	1,94			
	0,01	4,92	2,08	4,33	0,88			
	0,01	2,30	-0,30	0,09	0,04			
	0,00	0,74	0,26	0,07	0,09			
	0,00	0,23	0,77	0,59	2,49			
2	0,50	20,88	2,12	4,48	0,21	4,97	11,1	0,05
	0,22	9,14	-0,14	0,02	0,00			
	0,10	4,40	0,60	0,35	0,08			
	0,05	2,21	1,79	3,21	1,45			
	0,03	1,14	-1,14	1,29	1,14			
	0,01	0,59	-0,59	0,35	0,59			
	0,01	0,31	0,69	0,47	1,49			
3	0,28	25,16	8,84	78,17	3,11	14,81	15,1	0,1
	0,23	20,49	-9,49	90,03	4,39			
	0,16	14,92	-4,92	24,18	1,62			
	0,11	10,38	0,62	0,39	0,04			
	0,08	7,02	-0,02	0,00	0,00			
	0,05	4,65	1,35	1,82	0,39			
	0,03	3,03	3,1	9,61	3,17			

Элемент	$P_j$	$nP_j$	$m_j - nP_j$	$(m_j - nP_j)^2$	$(m_j - nP_j)^2 / nP_j$	$\chi^2_{\alpha,k \text{ расч}}$	$\chi^2_{\alpha,k \text{ табл}}$	Уровень ошибки ( $\alpha$ )
4	0,02	1,95	2,02	9,29	2,09	13,92	15,1	0,1
	0,33	15,94	2,06	4,26	0,27			
	0,23	11,13	-1,13	1,28	0,11			
	0,15	7,36	-2,36	5,57	0,76			
	0,10	4,76	0,24	0,06	0,01			
	0,06	3,03	-2,03	4,14	1,36			
	0,04	1,92	4,08	16,68	8,71			
	0,03	1,20	1,80	3,24	2,70			
5	0,24	10,20	3,80	14,42	1,41	7,65	12,8	0,05
	0,25	10,64	-5,64	31,84	2,99			
	0,20	8,24	-2,24	5,04	0,61			
	0,13	5,60	1,40	1,96	0,35			
	0,08	3,49	2,51	6,31	1,81			
	0,05	2,03	0,97	0,93	0,46			
	0,03	1,12	-0,12	0,02	0,01			
6	0,27	32,75	8,25	68,12	2,08	14,92	15,1	0,1
	0,22	27,52	5,53	30,55	1,11			
	0,17	20,36	4,35	18,93	0,93			
	0,12	14,27	7,13	50,80	3,56			
	0,08	9,68	2,33	5,42	0,56			
	0,05	6,41	4,16	17,31	2,70			
	0,03	4,16	2,98	8,86	2,13			
7	0,02	2,66	2,22	4,92	1,85	16,77	16,8	0,1
	0,33	83,16	17,85	318,50	3,83			
	0,21	53,52	3,51	12,31	0,23			
	0,14	35,00	8,69	75,60	2,16			
	0,09	23,03	5,03	25,33	1,10			
	0,06	15,22	1,79	3,20	0,21			
	0,04	10,08	5,35	28,63	2,84			
	0,03	6,69	3,77	14,25	2,13			
	0,02	4,45	3,28	10,77	2,42			
8	0,01	2,96	2,34	5,48	1,85	14,29	15,1	0,1
	0,27	23,97	6,04	36,43	1,52			
	0,22	19,70	1,72	2,96	0,15			
	0,16	14,55	2,56	6,55	0,45			
	0,11	10,29	5,89	34,68	3,37			
	0,08	7,07	0,00	0,00	0,00			
	0,05	4,77	2,23	4,96	1,04			
	0,04	3,17	3,72	13,82	4,36			
9	0,02	2,08	2,66	7,07	3,40	12,90	13,3	0,1
	0,29	13,18	5,82	33,87	2,57			
	0,22	9,71	3,71	13,79	1,42			
	0,15	6,73	2,73	7,47	1,11			
	0,10	4,54	0,48	0,23	0,05			
	0,07	3,01	1,01	1,02	0,34			
	0,04	1,97	2,28	5,20	2,64			
11	0,03	1,28	2,47	6,11	4,77	3,75	9,4	0,05
	0,44	18,55	3,45	11,92	0,64			
	0,22	9,24	-1,24	1,54	0,17			
	0,12	4,94	0,06	0,00	0,00			
	0,06	2,72	0,28	0,08	0,03			
	0,04	1,53	0,47	0,22	0,15			
12	0,02	0,65	1,35	1,81	2,76	15,10	15,1	0,1
	0,54	163,31	31,69	1004,12	6,15			
	0,19	57,18	14,82	219,50	3,82			
	0,08	22,67	-4,67	21,82	0,96			
	0,03	9,49	-1,49	2,21	0,23			
	0,01	4,11	-0,11	0,01	0,00			
	0,01	1,82	0,18	0,03	0,02			

Элемент	$P_j$	$nP_j$	$m_j - nP_j$	$(m_j - nP_j)^2$	$(m_j - nP_j)^2 / nP_j$	$\chi^2_{\alpha,k \text{ расч}}$	$\chi^2_{\alpha,k \text{ табл}}$	Уровень ошибки ( $\alpha$ )
13	0,00	0,82	0,18	0,03	0,04	8,59	11,1	0,05
	0,00	0,18	0,82	0,68	3,88			
	0,40	23,69	0,31	0,10	0,00			
17	0,26	15,38	2,62	6,84	0,44	14,58	16,8	0,1
	0,15	8,97	-0,97	0,93	0,10			
	0,08	4,99	-1,99	3,95	0,79			
	0,05	2,69	-0,69	0,48	0,18			
	0,02	1,42	-0,42	0,18	0,12			
	0,01	0,74	2,26	5,12	6,95			
	0,40	83,65	22,35	499,39	5,97			
	0,23	46,95	5,93	35,21	0,75			
	0,13	26,82	6,81	46,40	1,73			
22	0,07	15,43	3,56	12,65	0,82	14,57	16,8	0,1
	0,04	8,92	0,00	0,00	0,00			
	0,02	5,17	1,18	1,40	0,27			
	0,01	3,01	2,01	4,03	1,34			
	0,01	1,75	1,81	3,29	1,88			
	0,00	1,02	1,36	1,86	1,82			
	0,49	91,77	30,23	913,81	9,96			
	0,17	32,60	3,40	11,56	0,35			
	0,08	14,90	-4,90	23,96	1,61			
	0,04	7,52	3,48	12,10	1,61			
40	0,02	4,03	-0,03	0,00	0,00	16,79	16,8	0,1
	0,01	2,25	0,75	0,57	0,25			
	0,01	1,29	-0,29	0,08	0,07			
	0,00	0,76	0,24	0,06	0,08			
	0,00	0,46	0,54	0,30	0,65			
	0,19	46,85	-12,07	145,70	3,11			
	0,24	59,68	15,51	240,51	4,03			
	0,21	52,70	-11,15	124,37	2,36			
	0,15	38,61	-8,61	74,13	1,92			
	0,10	24,78	-2,77	7,68	0,31			
41	0,06	14,29	-3,86	14,86	1,04	14,96	15,1	0,1
	0,03	7,51	3,49	12,17	1,62			
	0,01	3,63	1,36	1,85	0,51			
	0,01	1,63	1,76	3,08	1,89			
	0,38	37,25	13,00	169,12	4,54			
	0,20	19,07	-7,74	59,88	3,14			
	0,12	11,24	-5,16	26,64	2,37			
	0,07	7,01	-0,00	0,00	0,00			
	0,05	4,51	-1,52	2,30	0,51			
45	0,03	2,97	1,03	1,07	0,36	5,96	6,6	0,1
	0,02	1,99	2,06	4,26	2,14			
	0,01	1,35	1,60	2,57	1,90			
	0,41	8,11	0,90	0,81	0,10			
70	0,23	4,57	-0,57	0,32	0,07	18,19	18,5	0,1
	0,13	2,67	1,33	1,76	0,66			
	0,04	0,79	2,01	4,05	5,13			
	0,28	138,17	-11,52	132,64	0,96			
	0,19	93,08	12,24	149,86	1,61			
	0,13	64,19	12,44	154,70	2,41			
	0,09	44,72	-11,51	132,37	2,96			
	0,06	31,36	-3,36	11,29	0,36			
	0,04	22,09	-8,02	64,28	2,91			
71	0,03	15,61	5,94	35,28	2,26	5,77	9,4	0,05
	0,02	11,07	-3,82	14,61	1,32			
	0,02	7,86	4,03	16,27	2,07			
	0,01	5,60	6,40	41,01	7,33			

Элемент	$P_j$	$nP_j$	$m_j - nP_j$	$(m_j - nP_j)^2$	$(m_j - nP_j)^2 / nP_j$	$\chi^2_{\alpha,k \text{ расч}}$	$\chi^2_{\alpha,k \text{ табл}}$	Уровень ошибки ( $\alpha$ )
73	0,25	5,67	-3,67	13,48	2,38	15,98	16,8	0,1
	0,22	5,14	1,86	3,45	0,67			
	0,16	3,74	0,26	0,07	0,02			
	0,10	2,32	-0,32	0,10	0,04			
	0,05	1,26	1,74	3,02	2,40			
	0,28	42,96	7,67	58,86	1,37			
	0,21	33,01	-2,99	8,91	0,27			
	0,15	23,74	-9,50	90,21	3,80			
	0,11	16,60	-5,60	31,37	1,89			
	0,07	11,42	-0,48	0,23	0,02			
76	0,05	7,76	5,39	29,10	3,75	17,34	18,5	0,1
	0,03	5,23	3,51	12,34	2,36			
	0,02	3,49	-0,49	0,24	0,07			
	0,02	2,32	2,38	5,68	2,45			
	0,25	81,77	9,22	85,04	1,04			
	0,27	87,95	-13,62	185,57	2,11			
	0,20	66,65	-13,31	177,29	2,66			
	0,13	41,73	12,09	146,06	3,50			
	0,07	22,72	-4,26	18,18	0,80			
	0,03	11,04	3,79	14,35	1,30			
84	0,01	4,86	2,15	4,62	0,95	4,07	11,1	0,05
	0,01	1,96	0,00	0,00	0,00			
	0,00	0,73	1,42	2,01	2,75			
	0,00	0,25	0,75	0,56	2,23			
	0,36	13,85	0,15	0,02	0,00			
	0,25	9,84	1,16	1,35	0,14			
	0,16	6,20	-0,20	0,04	0,01			
92	0,10	3,71	-0,71	0,50	0,13	6,93	14,4	0,05
	0,05	2,14	-1,14	1,30	0,61			
	0,03	1,21	0,79	0,63	0,52			
	0,02	0,67	1,33	1,78	2,66			
	0,30	42,65	6,35	40,32	0,95			
	0,23	32,76	-4,76	22,62	0,69			
	0,16	22,99	-3,99	15,92	0,69			
	0,11	15,54	-0,54	0,29	0,02			
100	0,07	10,26	0,74	0,54	0,05	9,51	11,3	0,1
	0,05	6,67	1,33	1,78	0,27			
	0,03	4,27	3,73	13,88	3,25			
	0,02	2,71	0,29	0,08	0,03			
	0,01	1,70	1,30	1,68	0,99			
	0,30	8,62	-0,62	0,39	0,05			
101	0,26	7,56	-0,56	0,31	0,04	7,96	9,2	0,1
	0,18	5,30	-1,30	1,68	0,32			
	0,12	3,37	-1,37	1,87	0,56			
	0,07	2,01	3,99	15,91	7,91			
	0,04	1,15	0,85	0,73	0,64			
102	0,14	3,27	1,73	2,99	0,91	23,28	13,3	0,1
	0,20	4,92	-0,92	0,84	0,17			
	0,19	4,52	0,48	0,23	0,05			
	0,12	2,88	2,12	4,47	1,55			
	0,08	1,87	3,13	9,83	5,27			
700	0,22	9,90	5,10	26,04	2,63	12,96	13,3	0,1
	0,21	9,37	-2,37	5,60	0,60			
	0,17	7,52	-4,52	20,44	2,72			
	0,12	5,61	-2,61	6,81	1,21			
	0,09	3,99	0,01	0,00	0,00			
	0,06	2,74	4,26	18,14	6,62			
	0,04	1,83	4,17	17,39	9,50			
700	0,18	10,59	4,41	19,49	1,84	12,96	13,3	0,1

Элемент	$P_j$	$nP_j$	$m_j - nP_j$	$(m_j - nP_j)^2$	$(m_j - nP_j)^2 / nP_j$	$\chi^2_{\alpha,k \text{ расч}}$	$\chi^2_{\alpha,k \text{ табл}}$	Уровень ошибки ( $\alpha$ )
701	0,21	12,21	-3,20	10,26	0,84	13,63	15,1	0,1
	0,18	10,71	-3,70	13,71	1,28			
	0,14	8,39	-4,54	20,64	2,46			
	0,10	6,13	2,88	8,28	1,35			
	0,07	4,24	-1,24	1,53	0,36			
	0,05	2,82	3,69	13,62	4,83			
702	0,34	25,21	3,79	14,36	0,57	11,18	11,3	0,1
	0,24	17,87	-7,87	61,91	3,46			
	0,16	11,71	4,29	18,43	1,57			
	0,10	7,43	-0,43	0,18	0,02			
	0,06	4,62	-1,62	2,62	0,57			
	0,04	2,83	-0,83	0,69	0,24			
705	0,02	1,72	3,28	10,78	6,28	10,08	11,3	0,1
	0,01	1,03	0,97	0,94	0,91			
	0,21	5,85	3,15	9,95	1,70			
	0,23	6,48	-4,30	18,47	2,85			
	0,19	5,37	-3,37	11,33	2,11			
	0,14	3,94	1,07	1,14	0,29			
705	0,10	2,67	2,22	4,91	1,84	10,08	11,3	0,1
	0,06	1,70	2,02	4,06	2,39			
	0,12	2,80	2,20	4,84	1,73			
	0,19	4,28	-2,29	5,22	1,22			
	0,19	4,37	-2,37	5,64	1,29			
	0,16	3,75	-0,75	0,56	0,15			
705	0,12	2,87	-0,88	0,77	0,27	10,08	11,3	0,1
	0,09	2,02	3,31	10,95	5,42			

Из расчета критерия согласия видно, что для всех элементов закон Вейбулла-Гнеденко подтверждается с уровнем ошибки не более 0,1 (10 %).

### 3 Разработка режимов и номенклатуры профилактических работ автосамосвалов БЕЛАЗ с учетом полученных показателей эксплуатационной надежности

#### 3.1 Расчет режимов и номенклатуры для а/с БелАЗ 75131

В связи с тем, что коэффициенты вариации по выделенным элементам имеет значение не ниже 0,85, а некоторых случаях более 1,0 определение оптимальной периодичности профилактических работ по экономико - вероятностному методу не представляется возможным в связи возможным значительным недоиспользованным техническим ресурсом и отсутствием экономического эффекта. Поэтому для оценки периодичности профилактических работ используем метод определения периодичности по допустимому уровню безотказности. Этот метод не имеет прямых экономических оценок последствий отказов, но позволяет в условиях с высокой вариацией наработок на отказ гарантировать риск возникновения отказа не более допустимого (или вероятность безотказной работы не ниже допустимой). Нами предлагается установить допустимый уровень безотказности в размере 70 %.

Для оценки вероятности безотказной работы воспользуемся параметрами подтвержденных законов распределения (формулы 2.19 и 2.20). Полученные данные сведем в таблицу 2.18.

**Таблица 2.18 – Значение вероятности безотказной работы**

Элемент	<i>L</i> , тыс. мото-час																			
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1
Вероятность безотказной работы <i>P(L)</i>																				
1	0,93	0,85	0,79	0,73	0,67	0,62	0,57	0,52	0,48	0,44	0,41	0,38	0,34	0,32	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19
12	0,92	0,86	0,80	0,75	0,70	0,66	0,62	0,58	0,55	0,52	0,49	0,46	0,43	0,41	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30	0,29
13	0,94	0,90	0,87	0,84	0,81	0,78	0,76	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,62	0,60	0,58	0,57	0,55	0,54	0,53
17	0,96	0,93	0,90	0,87	0,84	0,82	0,79	0,77	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,63	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,53
2	0,98	0,96	0,93	0,91	0,89	0,86	0,84	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,68	0,66	0,64	0,62	0,61	0,59	0,57
22	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,66	0,64	0,62
3	0,87	0,80	0,74	0,69	0,65	0,62	0,59	0,56	0,53	0,50	0,48	0,46	0,44	0,42	0,41	0,39	0,37	0,36	0,35	0,33
4	0,77	0,67	0,60	0,54	0,49	0,45	0,42	0,39	0,36	0,34	0,32	0,30	0,28	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,19
40	0,89	0,79	0,69	0,61	0,54	0,47	0,41	0,36	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08	0,07
41	0,91	0,84	0,78	0,73	0,68	0,64	0,60	0,57	0,53	0,50	0,47	0,45	0,42	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,31	0,29
45	0,85	0,77	0,72	0,67	0,63	0,59	0,56	0,54	0,51	0,49	0,47	0,45	0,43	0,41	0,39	0,38	0,37	0,35	0,34	0,33
5	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85	0,83	0,81	0,79	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57
6	0,90	0,84	0,79	0,75	0,71	0,68	0,65	0,62	0,59	0,56	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46	0,44	0,43	0,41	0,40	0,38
7	0,88	0,79	0,72	0,65	0,59	0,54	0,50	0,45	0,42	0,38	0,35	0,32	0,30	0,27	0,25	0,23	0,22	0,20	0,18	0,17
70	0,90	0,78	0,65	0,53	0,43	0,34	0,27	0,21	0,16	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	
73	0,90	0,84	0,79	0,75	0,71	0,68	0,65	0,62	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,44	0,42	0,41	0,40
76	0,88	0,76	0,64	0,54	0,45	0,38	0,31	0,26	0,21	0,17	0,14	0,12	0,09	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	
8	0,96	0,92	0,88	0,85	0,81	0,78	0,74	0,71	0,68	0,65	0,62	0,59	0,57	0,54	0,52	0,49	0,47	0,45	0,43	0,41
9	0,94	0,89	0,84	0,79	0,75	0,71	0,68	0,64	0,61	0,58	0,55	0,52	0,50	0,47	0,45	0,43	0,40	0,38	0,37	0,35
92	0,93	0,87	0,81	0,76	0,70	0,65	0,61	0,57	0,53	0,49	0,45	0,42	0,39	0,36	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25	0,23
100	0,96	0,92	0,89	0,86	0,82	0,79	0,76	0,74	0,71	0,68	0,66	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47
102	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,64	0,62	0,60	0,58

По данным таблицы 2.18 можно сделать вывод о периодичности проведения профилактических операций по элементам (таблица 2.19).

Таблица 2.19 – Периодичность проведения профилактических операций (не более тыс. мото-часов)

Элемент	1	12	13	17	2	22	3	4	40	41	45	5	6	7	70	73	76	8	9	92	100	102
Периодичность	0,22	0,25	0,5	0,55	0,65	0,75	0,2	0,08	0,15	0,23	0,16	0,65	0,25	0,16	0,13	0,25	0,12	0,4	0,3	0,25	0,45	0,65

В связи с особенностью производства дополнительные простоя а/с в системе ТО и Р не целесообразны. Поэтому необходимо приурочить проведение профилактических операций по выделенным элементам к очередному ТО с возможностью использования метода групповых замен. Соответственно итоговая периодичность проведения профилактических операций представлена в таблице 2.20.

Таблица 2.20 – Итоговая периодичность (тыс. мото-часов)

Элемент	1	12	13	17	100	102	2	22	3	4	40	41	45	5	6	7	70	73	76	8	9	92
Периодичность	0,25			0,5			0,5	0,75	0,25			0,25		0,5	0,25		0,25		0,25	0,25	0,25	0,25

Результаты таблицы 2.20 отображены на графике профилактики (рисунок 2.6).

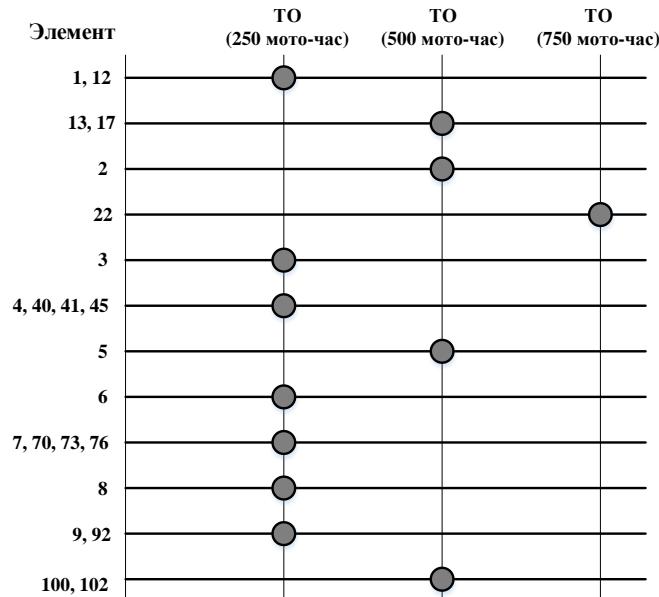


Рисунок 2.6 – Периодичность профилактических работ

### 3.2 Расчет режимов и номенклатуры для а/с БелАЗ 75306

Для оценки вероятности безотказной работы воспользуемся параметрами подтвержденных законов распределения (формулы 2.19 и 2.20). Полученные данные сведем в таблицу 2.21.

Таблица 2.21 – Значение вероятности безотказной работы

Элемент	<i>L</i> , тыс. мото-час																			
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1
Вероятность безотказной работы <i>P(L)</i>																				
1	0,94	0,88	0,82	0,77	0,72	0,67	0,63	0,59	0,55	0,52	0,49	0,45	0,43	0,40	0,37	0,35	0,33	0,31	0,29	0,27
2	0,97	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,75	0,73	0,71	0,70	0,68	0,67	0,65	0,64	0,63
3	0,99	0,98	0,96	0,95	0,94	0,92	0,91	0,89	0,88	0,86	0,85	0,84	0,82	0,81	0,79	0,78	0,77	0,75	0,74	0,73
4	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85	0,83	0,80	0,78	0,76	0,74	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	0,58	0,56
5	0,99	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94	0,93	0,91	0,90	0,88	0,87	0,85	0,84	0,82	0,81	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73
6	0,99	0,97	0,96	0,94	0,92	0,90	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,80	0,78	0,76	0,74	0,73	0,71	0,69	0,68	0,66
7	0,95	0,90	0,86	0,82	0,78	0,74	0,71	0,68	0,64	0,61	0,59	0,56	0,53	0,51	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38
8	0,99	0,98	0,96	0,95	0,93	0,92	0,90	0,88	0,87	0,85	0,84	0,82	0,81	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,72	0,71
9	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78
11	0,97	0,94	0,92	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,72	0,70	0,68	0,67	0,65	0,64	0,62	0,61
12	0,91	0,84	0,78	0,73	0,68	0,63	0,59	0,55	0,52	0,48	0,45	0,43	0,40	0,38	0,35	0,33	0,31	0,29	0,28	0,26
13	0,99	0,97	0,96	0,94	0,92	0,91	0,89	0,87	0,86	0,84	0,83	0,81	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,72	0,70	0,69
17	0,94	0,89	0,84	0,79	0,74	0,70	0,66	0,63	0,59	0,56	0,53	0,50	0,47	0,44	0,42	0,40	0,37	0,35	0,33	0,32
22	0,91	0,85	0,80	0,76	0,73	0,69	0,66	0,63	0,60	0,58	0,56	0,53	0,51	0,49	0,47	0,46	0,44	0,42	0,41	0,39
40	0,97	0,91	0,83	0,74	0,65	0,57	0,48	0,41	0,34	0,28	0,22	0,18	0,14	0,11	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02
41	0,94	0,90	0,86	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71	0,69	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,55	0,53	0,51	0,50	0,48
45	0,98	0,96	0,95	0,93	0,91	0,90	0,88	0,87	0,85	0,84	0,82	0,81	0,79	0,78	0,77	0,75	0,74	0,73	0,72	0,70
70	0,85	0,74	0,64	0,55	0,48	0,41	0,36	0,31	0,27	0,24	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06
71	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96
73	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,82	0,79	0,77	0,74	0,71	0,69	0,66	0,64	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49
76	0,95	0,87	0,77	0,66	0,55	0,46	0,37	0,29	0,23	0,18	0,14	0,10	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
84	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90	0,88	0,86	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,64	0,62	0,60
92	0,98	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85	0,82	0,80	0,77	0,75	0,72	0,70	0,68	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,55	0,53
100	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,87
101	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97
102	1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89	0,89
700	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93
701	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80
702	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93
705	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97

По данным таблицы 2.21 можно сделать вывод о периодичности проведения профилактических операций по элементам (таблица 2.22).

Таблица 2.22 – Периодичность проведения профилактических операций (не более тыс. мото-часов)

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13	17	22	40
Периодичность	0,27	0,75	1,1	0,65	1,1	0,9	0,35	1	1,35	0,7	0,22	0,95	0,3	0,3	0,22
Элемент	41	45	70	71	73	76	84	92	100	101	102	700	701	702	705
Периодичность	0,4	1	0,12	3,75	0,5	0,18	0,75	0,6	2,1	4,5	2,35	3,3	1,5	3,25	4,65

В связи с особенностью производства дополнительные простой а/с в системе ТО и Р не целесообразны. Поэтому необходимо приурочить проведение профилактических операций по выделенным элементам к очередному ТО с возможностью использования метода групповых замен. Соответственно итоговая периодичность проведения профилактических операций представлена в таблице 2.23.

Таблица 2.23 – Итоговая периодичность (тыс. мото-часов)

Элемент	1	7	12	17	22	40	41	70	76	4	73	92	2	6	11	84	3	5	8	13	45	9	701	100	102	700	702	71	101	705
Периодичность																														

Результаты таблицы 2.23 отображены на графике профилактики (рисунок 2.7).

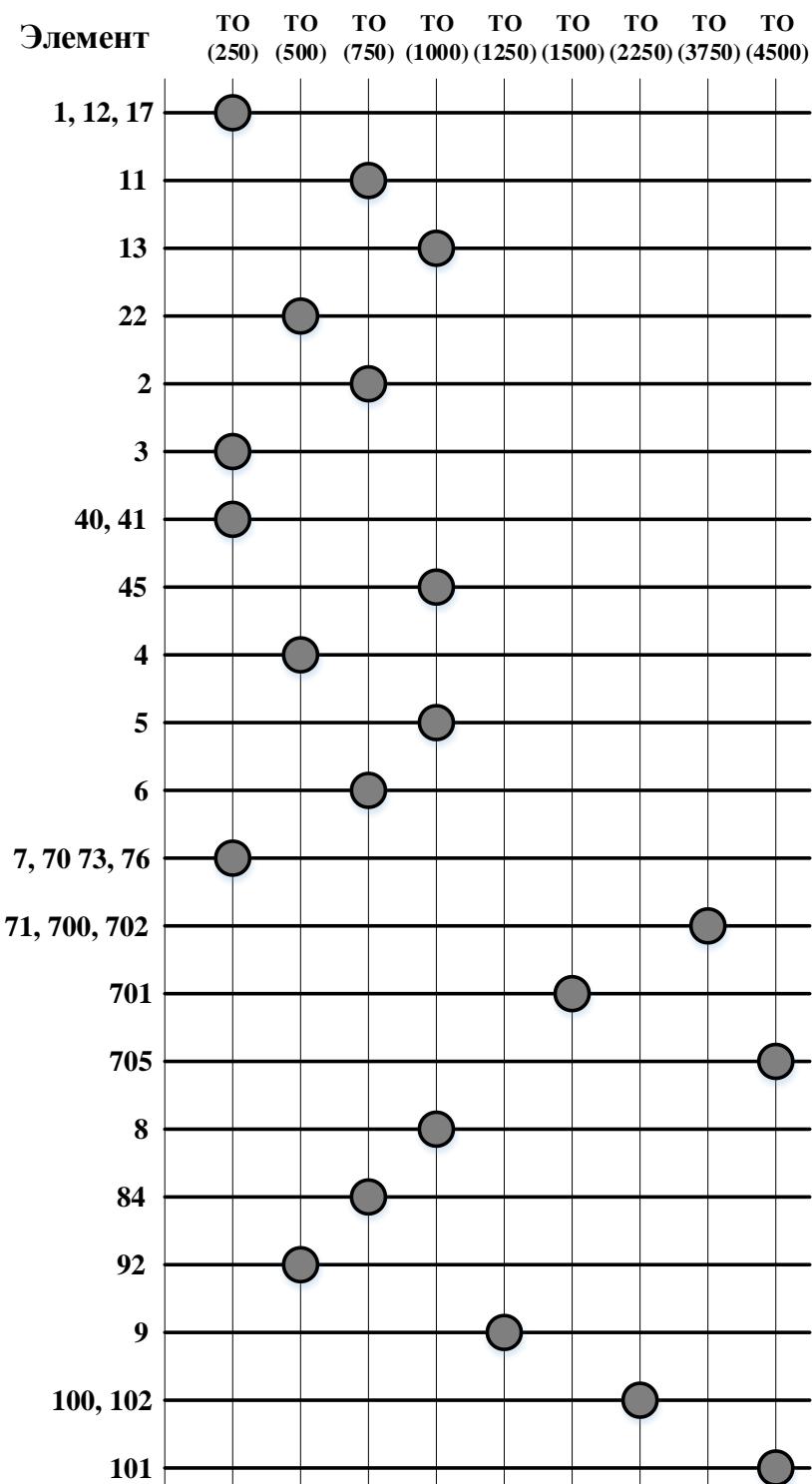


Рисунок 2.7 – Периодичность профилактических работ

3.3 Разработка рекомендаций по корректированию системы профилактики (системы ТО и Р) автосамосвалов БЕЛАЗ с учетом полученных показателей эксплуатационной надежности

Рекомендации по корректированию системы профилактики будут включать обязательные профилактические мероприятия диагностики (при необходимости ремонта), проводимые совместно с уже имеющимися

операциями технического обслуживания. Все дополнительные профилактические работы объединены в ступени профилактики (СТП), приуроченные к определенному виду ТО. Для автосамосвалов БелАЗ 75131 предусмотрено проведение трех СТП, содержание которых представлено в таблице 2.24.

Таблица 2.24 – Содержание СТП БелАЗ 75131

Ступень профиля ктики	Элемент	Номенклатура операций
СТП 1 (периодичность проведения 250 мото-час.)	1 элемент	Контроль состояния соединения картера заднего моста с редуктором электромотор-колеса, сварного соединения фланца рычага картера заднего моста с проушиной, сварного соединения нижнего кронштейна реактивной штанги с картером заднего моста на наличие трещин; контроль состояния сварных швов палубы, выхлопной системы.
	12 элемент	Контроль состояния сварных швов рамы и платформы.
	3 элемент	Контроль состояния рукавов высокого давления, компрессора, регулятора давления, пневмостартера, отопителя кабины.
	4 элемент	Контроль состояния блок пилотов; аксиально-поршневого насоса; насоса дозатора; усилителя потока; гидораспределителя.
	40 элемент	Контроль состояния предохранительного клапана, электронасоса, главного дозатора и трубопроводов.
	41 элемент	Проверить целостность рукавов и шлангов объединенной гидросистемы, а так же их крепление. Проверить момент затяжки креплений шлангов и болтов крепления фланцев к насосу и гидробаку. При необходимости подтянуть.
	45 элемент	Контроль состояния автомата разгрузки.
	6 элемент	Проверить момент затяжки креплений всех агрегатов к двигателю. При необходимости подтянуть. Контроль состояния патрубков, турбонагнетателя, датчика давления, датчика температуры, натяжителя обдува, актуатора, форсунок, топливной системы.
	7 элемент	Очистить пылеотбойники и моноциклоны воздухопроводов системы вентиляции и охлаждения тягового электропривода от пыли, обратив внимание, чтобы щели для выброса пыли оставались не засоренными. Проверить уровень электролита в аккумуляторных батареях, при необходимости довести до нормы. Прочистить вентиляционные отверстия в пробках батарей. Произвести осмотр щеток на тяговом электродвигателе и при необходимости заменить. Проверить давление азота в пневмогидроаккумуляторах рулевого управления и тормозной системы, при необходимости довести до нормы. Проверить момент затяжки крепления наконечников к клеммам и крепление аккумуляторных батарей в коробке. При необходимости подтянуть. Контроль состояния электрооборудования ход, топливного насоса, пневмогидроаккумуляторов, динамических тормозов, АСД карьер, электро ДВС, тягового генератора, зарядного генератора.
	70 элемент	Контроль состояния крепления блоков резисторов, надежность закрепления элементов резисторов в тормозных установках,

Ступень профиля ктики	Элемент	Номенклатура операций
СТП 2 (периодичность проведения 500 мото-час.)		надежность закрепления элементов воздушного охлаждения, электрооборудования УВТР, СУТЭП.
	73 элемент	Контроль состояния Контактор модульный.
	76 элемент	Контроль состояния осветительных приборов. Проверить правильность регулировки света фар и крепление приборов освещения и световой сигнализации.
	8 элемент	Проверить момент затяжки крепления радиаторов системы охлаждения к раме и при необходимости затянуть, очистить наружные поверхности радиаторов. Контроль состояния патрубков, радиатора двигателя, ремня вентилятора, термостата, радиатора отопителя кабины.
	9 элемент	Проверить шарниры тяги и цилиндров поворота рулевой трапеции на наличие зазоров и люфтов. Проверить момент затяжки крепежных соединений рулевого управления: гайки на конусных пальцах цилиндров поворота; болты крепления пальцев тяги рулевой трапеции; гайки шпилек крепления рычагов рулевой трапеции; гайки клемовых соединений наконечников цилиндров поворота и тяги рулевой трапеции.
	92 элемент	Контроль состояния КГШ и обода. Проверить момент затяжки гаек крепления передних и задних колес.
	13 элемент	Контроль состояния кабины и элементов оперения, подтянуть крепление.
	17 элемент	Контроль состояния подвески, сварного соединения нижнего кронштейна реактивной штанги с картером заднего моста на наличие трещин.
	2 элемент	Проверить момент затяжки: болтов крепления основания проушины центрального шарнира к рычагу балки передней оси; болтов и гайки крепления фланца проушины центрального шарнира к рычагу заднего моста; гайки крепления пальца центрального шарнира передней подвески; болта крепления пальца центрального шарнира задней подвески; болтов крепления прижимных пластин к пальцам поперечной штанги задней подвески; болтов крепления крышек подшипников центральных шарниров передней и задней подвески; гайки крепления конусных пальцев штанги передней подвески; болтов крепления прижимных пластин к пальцам поперечной штанги передней подвески; болтов крепления стопорных пластин. При необходимости подтянуть.
	5 элемент	Проверить уровень масла в редукторах электромотор-колес. Проверить масло в мотор-колесах на наличие стружки. Извлечь торсионный вал в сборе с солнечной шестерней и проверить визуально их состояние. Проверить зазор между торсионным валом и упором, при необходимости отрегулировать. Проверить болты крепления тяговых электродвигателей к редукторам электромотор-колес;
	100 элемент	Контроль состояния зазора между тормозным диском и накладками рабочей и стояночных тормозных супортов, при необходимости отрегулировать. Зазор должен находиться в пределах 1-1,5 мм. Проверить момент затяжки: болтов крепления

Ступень профилактики	Элемент	Номенклатура операций
		корпусов тормозных механизмов передних колес и гайки крепления тормозных механизмов задних колес; гаек крепления цилиндров стояночного тормоза; крепления ходового и тормозного контроллеров к днищу кабины; болтов крепления корпусов тормозных механизмов передних колес и гайки крепления тормозных механизмов задних колес. При необходимости подтянуть. Контроль состояния: тормозной системы; суппортов; тормозных дисков; тормозных цилиндров; клапана ргс.
	102 элемент	Проверить износ накладок тормозных механизмов передних и задних колес. При необходимости заменить накладки. Предельно допустимая минимальная ширина прокладки с каркасом не менее 15 мм.
СТП 3 (периодичность проведения 750 мото-час.)	22 элемент	Проверить момент затяжки: болтов крепления верхнего и нижнего кронштейнов цилиндров передней подвески; гайки шаровых опор цилиндров передней и задней подвески. Контроль состояния: пневмогидроцилиндров; зарядки цилиндров подвески газом, при необходимости отрегулировать; металлопластмассовых вкладышей цилиндров подвески; уровня масла в кожухах цилиндров подвески, при необходимости долить до уровня контрольной пробки. Проверить момент затяжки болтов крепления верхнего и нижнего кронштейнов цилиндров передней подвески; гайки шаровых опор цилиндров передней и задней подвески. При необходимости подтянуть. Осмотреть состояние сварных швов кронштейнов задней подвески.

План график проведения СТП автосамосвалов БелАЗ 75131 представлен на рис. 2.8.

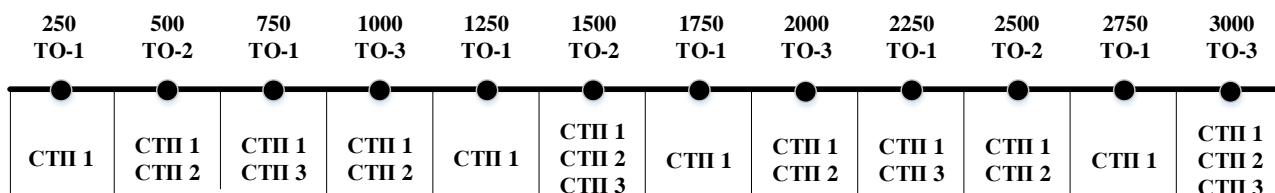


Рисунок 2.8 – План график профилактики БелАЗ 75131

Для автосамосвалов БелАЗ 75306 предусмотрено проведение девяти СТП, содержание которых представлено в таблице 2.25.

Таблица 2.25 – Содержание СТП БелАЗ 75306

Ступень профиля ктики	Элемент	Номенклатура операций
СТП 1 (250 мото-час.)	1 элемент	Контроль состояния: соединения картера заднего моста с редуктором электромотор-колеса, сварного соединения фланца рычага картера заднего моста с проушиной, сварного соединения нижнего кронштейна реактивной штанги с картером заднего моста на наличие трещин, выхлопной системы, гидросистемы.
	12 элемент	Контроль состояния сварных швов рамы и платформы.
	17 элемент	Контроль состояния: подвески, сварного соединения нижнего кронштейна реактивной штанги с картером заднего моста на наличие трещин. Осмотреть состояние сварных швов кронштейнов задней подвески.
	3 элемент	Контроль состояния: рукавов высокого давления, компрессора, регулятора давления, пневмостартера, отопителя кабины, жалюзей.
	40 элемент	Контроль состояния предохранительного клапана, электронасоса, главного дозатора и трубопроводов.
	41 элемент	Проверить целостность рукавов и шлангов объединенной гидросистемы, а так же их крепление. Проверить момент затяжки креплений шлангов и болты креплений фланцев к насосу и гидробаку. При необходимости подтянуть.
	7 элемент	Очистить пылеотбойники и моноциклины воздухопроводов системы вентиляции и охлаждения тягового электропривода от пыли, обратив внимание, чтобы щели для выброса пыли оставались не засоренными. Проверить уровень электролита в аккумуляторных батареях, при необходимости довести до нормы. Прочистить вентиляционные отверстия в пробках батарей. Проверить давление азота в пневмогидроаккумуляторах рулевого управления и тормозной системы, при необходимости довести до нормы. Подтянуть крепление наконечников к клеммам и крепление аккумуляторных батарей в коробке. Контроль состояния: топливного насоса, пневмогидроаккумуляторов, динамических тормозов, АСД карьер, катушек.
	70 элемент	Контроль состояния: крепления блоков резисторов, надежность закрепления элементов резисторов в тормозных установках, надежность закрепления элементов воздушного охлаждения, электрооборудования УВТР, СУТЭП.
	73 элемент	Контроль состояния контактора модульного.
	76 элемент	Контроль состояния осветительных приборов. Проверить правильность регулировки света фар и крепление приборов освещения и световой сигнализации.
СТП 2 (500 мото-час.)	22 элемент	Проверить момент затяжки болтов крепления верхнего и нижнего кронштейнов цилиндров передней подвески. При необходимости подтянуть. Контроль состояния: пневмогидроцилиндров; гайки шаровых опор цилиндров передней и задней подвески; зарядки цилиндров подвески газом, при необходимости отрегулировать; металлопластмассовых вкладышей цилиндров подвески; уровня масла в кожухах цилиндров подвески, при необходимости долить

Ступень профиля ктики	Элемент	Номенклатура операций
СТП 3 (750 мото-час.)		до уровня контрольной пробки. Проверить момент затяжки болтов крепления верхнего и нижнего кронштейнов цилиндров передней подвески; гайки шаровых опор цилиндров передней и задней подвески. При необходимости подтянуть.
	4 элемент	Контроль состояния блок пилотов; аксиально-поршневого насоса; насоса дозатора; усилителя потока; гидораспределителя, карданного вала насоса.
	92 элемент	Контроль состояния КГШ и обода. Проверить момент затяжки гаек крепления передних и задних колес.
СТП 3 (750 мото-час.)	11 элемент	Контроль состояния сварных швов палубы.
	2 элемент	Проверить момент затяжки: болтов крепления основания проушины центрального шарнира к рычагу балки передней оси; болтов и гайки крепления фланца проушины центрального шарнира к рычагу заднего моста; гайки крепления пальца центрального шарнира передней подвески; болта крепления пальца центрального шарнира задней подвески; болтов крепления прижимных пластин к пальцам поперечной штанги задней подвески; болтов крепления крышек подшипников центральных шарниров передней и задней подвески; гайки крепления конусных пальцев штанги передней подвески; болтов крепления прижимных пластин к пальцам поперечной штанги передней подвески; болтов крепления стопорных пластин. При необходимости подтянуть. Контроль состояния амортизатора грузовой платформы.
	6 элемент	Проверить состояние крепления всех агрегатов к двигателю. При необходимости крепежные соединения подтянуть. Контроль состояния патрубков, турбонагнетателя, датчика давления, датчика температуры, натяжителя обдува, актуатора, форсунок, топливной системы, гидромуфты.
	84 элемент	Контроль состояния патрубков.
СТП 4 (1000 мото-час.)	13 элемент	Контроль состояния кабины и элементов оперения, подтянуть крепление.
	45 элемент	Контроль состояния автомата разгрузки.
	5 элемент	Проверить уровень масла в редукторах электромотор-колес. Проверить масло в мотор-колесах на наличие стружки. Извлечь торсионный вал в сборе с солнечной шестерней и проверить визуально их состояние. Проверить зазор между торсионным валом и упором, при необходимости отрегулировать. Проверить момент затяжки болтов крепления тяговых электродвигателей к редукторам электромотор-колес. При необходимости подтянуть.
	8 элемент	Проверить крепление радиаторов системы охлаждения к раме и при необходимости затянуть, очистить наружные поверхности радиаторов. Контроль состояния радиатора двигателя, ремня вентилятора, термостата, радиатора отопителя кабины, насоса.

Ступень профиля ктики	Элемент	Номенклатура операций
СТП 5 (1250 мото-час.)	9 элемент	Проверить шарниры тяги и цилиндров поворота рулевой трапеции на наличие зазоров и люфтов. Проверить момент затяжки: крепежных соединений рулевого управления; гайки на конусных пальцах цилиндров поворота; болты крепления пальцев тяги рулевой трапеции; гайки шпилек крепления рычагов рулевой трапеции; гайки клемовых соединений наконечников цилиндров поворота и тяги рулевой трапеции. При необходимости подтянуть. Контроль состояния поворотной плиты, трапеции, рулевой колонки.
СТП 6 (1500 мото-час.)	701 элемент	Контроль состояния тягового генератора.
СТП 7 (2250 мото-час.)	100 элемент	Проверить момент затяжки: болтов крепления корпусов тормозных механизмов передних колес и гайки крепления тормозных механизмов задних колес; гаек крепления цилиндров стояночного тормоза; крепления ходового и тормозного контроллеров к днищу кабины; болтов крепления корпусов тормозных механизмов передних колес и гайки крепления тормозных механизмов задних колес. При необходимости подтянуть. Контроль состояния: тормозной системы; тормозных дисков; тормозных цилиндров; клапана РГС, крана стояночного тормоза.
	102 элемент	Контроль состояния зазора между тормозным диском и накладками рабочей и стояночных тормозных суппортов, при необходимости отрегулировать. Зазор должен находиться в пределах 1-1,5 мм. Проверить износ накладок тормозных механизмов передних и задних колес. При необходимости заменить накладки. Предельно допустимая минимальная ширина прокладки с каркасом не менее 15 мм.
СТП 8 (3750 мото-час.)	71 элемент	Контроль состояния электрооборудования ход.
	700 элемент	Контроль состояния электро ДВС.
	702 элемент	Контроль состояния зарядного генератора.
СТП 9 (4500 мото-час.)	705 элемент	Контроль состояния щеток на тяговом электродвигателе и при необходимости заменить, на зарядном генераторе.
	101 элемент	Контроль состояния суппортов.

План график проведения СТП автосамосвалов БелАЗ 75306 представлен на рис. 2.9.

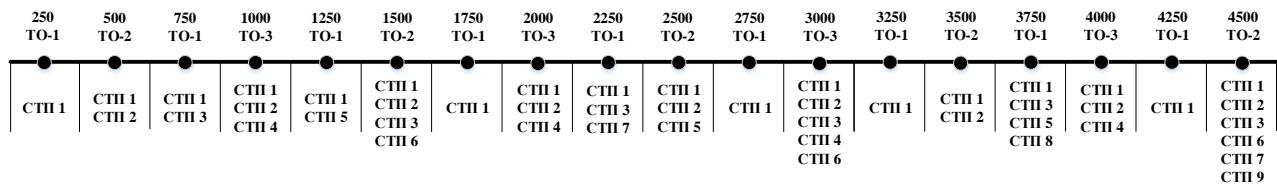


Рисунок 2.9 – План график профилактики БелАЗ 75306

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной выпускной квалификационной работе был проведен анализ деятельности службы ремонта и ТО ОАО «Черногорский РМЗ» на предприятии «Разрез Черногорский» и собрана информация по отказам элементов автосамосвалов БелАЗ 75131 и 75306 за 2017 -2018 годы.

Во второй главе проведен анализ показателей надежности таких систем как:

- Сварка
- Подвеска
- Пневмосистема
- Гидросистема
- РМК
- ДВС
- Навесное оборудование
- Система охлаждения
- Рулевое управление
- Тормозная система

Сформированы вариационные ряды, определены точечные и интервальные показатели надежности. В результате полученных значений коэффициента вариации 0,61-1,69 был принят теоретический закон Вейбулла-Гнеденко. Выполнен расчет критерия согласия для закона Вейбулла-Гнеденко, из которого видно, что для всех элементов закон подтверждается с уровнем ошибки не более 0,1(10%).

В третьей главе используя значения показателей эксплуатационной надежности, были определены оптимальные периодичности проведения профилактических работ по элементам. В дальнейшем все профилактические операции сгруппированы в ступени профилактики, приуроченные к определенному плановому ТО. Для автосамосвалов БелАЗ 75131 предусматривается проведение трех ступеней профилактики, для автосамосвалов БелАЗ 75306 девяти ступеней.

## **CONCLUSION**

The present graduation thesis considers the analysis of activity of the car repair service «Chernogorsky Repair and Engineering Works (REW)», JSC at the «Chernogorsky Coal Strip Mine» enterprise as well as data presentation on failing components of dump trucks of BelAZ 75131 and 75306 in the course of the years of 2017 – 2018.

The second chapter of the graduation project presents the reliability analysis of such mechanisms as:

- Welding
- Suspension
- Pneumatic system
- Hydraulic system
- Motogear system
- Internal combustion engine
- Auxiliary equipment
- Cooling system
- Steering
- Braking system

Set of variate values have been performed, point and interval measurements of reliability rate have been defined. The received values of coefficient of variation 0.61-1.69 have resulted in the application of the Weibull-Gnedenko Law. The calculation of fitting criterion for the Weibull-Gnedenko Law has shown that for all elements the Law is supported with error rate to a maximum of 0.1 (10%).

The third chapter considers reliability-performance measures and presents optimum frequency of scheduled maintenance of elements. Further all preventive measures have been grouped into the prevention steps dated for certain planned maintenance. For dump trucks of BelAZ 75131 it has been recommended to take three steps of prevention, for dump trucks of BelAZ 75306 – nine steps.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Олейников, А. В. Основы теории надежности : учеб. пособие / А.В. Олейников, В. А. Васильев, А. А. Суэтова ; Сиб. Федер. ун-т; ХТИ – филиал СФУ. – Абакан : Ред.-изд. сектор ХТИ – филиала СФУ, 20154. – 144 с.
2. "Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта" (утв. Минавтотрансом РСФСР 20.09.1984).
3. Яхъяев, Н. Я. Основы теории надежности и диагностика : учебник; допущено УМО по образованию в области транспортных машин / Н. Я. Яхъяев, А. В. Кораблин. - М. : Академия, 2009. - 256 с.
4. Малкин, В. С. Техническая эксплуатация автомобилей: теоретические и практические аспекты : учебное пособие для студентов высших учебных заведений; допущено УМО по образованию в области транспортных машин / В. С. Малкин. - М. : Академия, 2007. - 288 с.
5. Зорин, В. А. Основы работоспособности технических систем : учебник / В. А. Зорин. - 2-е изд., перераб. - М. : Издательский центр "Академия", 2015. - 208 с.
6. Олейников, А. В. Основы теории надежности и диагностики. Оценка показателей надежности : метод. указания к практическим занятиям / А. В. Олейников, В. А. Васильев ; Сиб. федер. ун-т; ХТИ - филиал СФУ. - Абакан : РИО ХТИ - филиала СФУ, 2011. - 60 с.
7. Каштанов, В. А. Теория надежности сложных систем : учебное пособие; рекомендовано МО и науки РФ / В. А. Каштанов, А. И. Медведев. - 2-е изд., перераб. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 608 с.
8. Авдоныкин, Ф. Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей : учебное пособие для вузов / Ф.Н. Авдоныкин. - М. : Транспорт, 1985. - 95 с.
9. Епифанов, Л. И. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей : учебное пособие / Л. И. Епифанов, Е. А. Епифанова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : ИД "ФОРУМ": ИНФРА-М, 2015. - 352 с.
10. Кузьмин, Н. А. Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности : учебное пособие; допущено МО и науки РФ / Н. А. Кузьмин. - М. : Форум, 2011. - 208 с.
11. Основы надежности машин : учебное пособие / Е.М. Зубрилина, Ю.И. Жевора, А.Т. Лебедев и др.; Ставропольский государственный аграрный университет.- Электрон. дан. – Ставрополь: АГРУС, 2010. – 120 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/>. - Загл. с экрана.
12. Дипломное проектирование по надежности и ремонту машин : учебное пособие/ Н.Е. Портнов, Ю.Е. Глазков, Г.Л. Попова, С.В. Ковылин.- Электрон. дан. - Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2004. - 80 с. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/>. - Загл. с экрана.

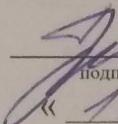
13. Кузнецов, А. С. Техническое обслуживание и ремонт автомобиля : в 2 ч. Ч. 1; учебник / А. С. Кузнецов. - 4-е изд., испр. - М. : Издательский центр "Академия", 2016. - 368 с.
14. Кузнецов, А. С. Техническое обслуживание и ремонт автомобиля : в 2 ч. Ч. 2; учебник / А. С. Кузнецов. - 4-изд., стер. - М. : Издательский центр "Академия", 2016. - 256 с.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт

Кафедра «Автомобильный транспорт и машиностроение»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

  
A.N. Борисенко  
подпись инициалы, фамилия  
« 19 » 06 20 19 г.

### ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

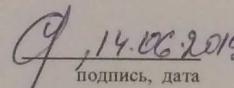
код и наименование специальности

Совершенствование регламента проведения работ по техническому  
обслуживанию автосамосвалов БелАЗ с учетом показателей  
эксплуатационной надежности на ОАО «Черногорский РМЗ», г. Черногорск.

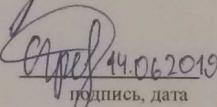
тема

Пояснительная записка

Руководитель

  
9.14.06.2019 доктор наук А.В. Олейников  
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник

  
А.О. Дедюхин  
подпись, дата инициалы, фамилия

Абакан 2019 г.