

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки: *Электроизоляционные системы и кабельная техника*

Отделение *Электроэнергетика и электротехника*

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы |
|--|
| Эксплуатационная надежность асинхронных двигателей лифтов |

УДК 621.313.333-027.45

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 5АМ6М | Дзариев Тимур Магомедович | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор, ИШЭ | Муравлев О.П | Д.Т.Н | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------|------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент, ИШП | Попова С.Н | К.Э.Н | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------|-------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент, ОКБ ИШМКБ | Бородин Ю.В | К.Т.Н | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|------------|---------------------------|---------|------|
| 13.04.02 Электроизоляционные системы и кабельная техника | Леонов А.П | К.Т.Н | | |

Томск – 2018 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение квалификационной работы

в форме:

| |
|--|
| Магистерской работы «Эксплуатационная надежность асинхронных двигателей лифтов» |
|--|

Студенту:

| | | | |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Группа | ФИО | | |
| 5АМ6М | Дзариев Тимур Магометович | | |
| Школа | ИШЭ | Отделение | ЭКМ |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/ специальность | Электроэнергетика и электротехника |

Техническое задание

| | |
|--|--|
| Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i> | Выполнить исследование эксплуатационной надежности асинхронных двигателей лифтов. Проанализировать существующие виды эксплуатационной надежности, математические модели надежности, массив данных по отказам двигателей АДЛ, выбрать подходящую модель. Рассчитать интенсивность отказов, вероятность безотказной работы, время до капитального ремонта. |
| Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования; содержательная, концептуальная, математическая структурная модель;)</i> | Литературный обзор лифтового оборудования; Математическое описание моделей надежности, полный их анализ; Расчет надежности; Использование ЭВМ для расчета; |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы | |
| «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» | Попова С.Н. , Доцент ИШП |
| «Социальная ответственность» | Бородин Ю.В. , Доцент ОКД ИШМКБ |
| «Английский язык» | Федорина З.В. , Доцент |

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------|--------------|------------------------|---------|------|
| ИШЭ, Профессор | Муравлев О.П | д.т.н | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 5АМ6М | Дзариев Тимур Магометович | | |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

| | |
|---------------|---------------------------|
| Группа | ФИО |
| 5АМ6М | Дзариев Тимур Магометович |

| | | | |
|----------------------------|--------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Школа | ИШЭ | Отделение | ЭКМ |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | Электроэнергетика и электротехника |

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| | |
|--|--|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов | 20% накладные расходы 30% районный коэффициент |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Выбор и обоснование структурной (принципиальной) схемы электропривода 2. Анализ и оценка научно-технического уровня проекта(НТУ) 3. Планирование проектных работ 4. Расчет сметы затрат на проектирование 5. Расчет капитальных вложений на реализацию проекта 6. Расчет расходов при эксплуатации электропривода <p align="center">Издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов</p> |
|--|

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

| |
|--|
| 1. Круговая гистограмма затрат на проектирование |
|--|

| | |
|---|--|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | |
|---|--|

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|------------------|-------------------------------|------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученная степень | Подпись | Дата |
| ИШП, Доцент | Попова Светлана Николаевна | к.э.н , доцент | | |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|---------------------------|----------------|-------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 5АМ6М | Дзариев Тимур Магометович | | |

Форма задания для раздела «Социальная ответственность»

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| | |
|---------------|---------------------------|
| Группа | ФИО |
| 5АМ6М | Дзариев Тимур Магометович |

| | | | |
|----------------------------|--------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Школа | ИШЭ | Отделение | ЭКМ |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | Электроэнергетика и электротехника |

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:

- вредных проявлений факторов производственной среды (метеословия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)
- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)
- негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)
- чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

Вредные факторы: - шум;
Опасные факторы:
- механические;
- физические;
- пожарная опасность
Электрическое поле, создаваемое двигателем, оказывает неблагоприятное влияние на живые организмы. Постоянный шум от двигателя может быть причиной функциональных изменений сердечно-сосудистой и нервной систем.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимостью размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, за

Источник : Шум и вибрация
Шум ухудшает условия труда, оказывает вредное действие на организм человека. Под воздействием шума снижается концентрация внимания, нарушаются физиологические функции, появляется усталость в связи с повышенными энергетическими затратами и нервнопсихическим напряжением, ухудшается речевая коммуникация.

2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности механические опасности (источники, средства защиты;

- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита –

Механические травмы
Поражение электрическим током

| | |
|--|--|
| <p>защиты);</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</p> | <p>Средства защиты: Улучшение магнитных характеристик электротехнической стали конструкции магнитной системы, снижения шума обмоток, снижения шума, создаваемого баком, снижение шума вентиляторов, вибро-звукоизоляции активной части.</p> <p>Средства защиты: Увеличения расстояния между источником излучения и рабочим местом,</p> |
| <p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <p><input type="checkbox"/> перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого горения; <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> выбор наиболее типичной ЧС;</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> разработка действий в результате возникновения ЧС и мер по ликвидации её последствий</p> | <p>Предупреждение чрезвычайных ситуаций как части их предотвращения (снижения рисков их возникновения), так и в плане уменьшения потерь и ущерба от них (смягчения последствий) проводится по следующим направлениям:</p> <p>страхованию ответственности за причинение вреда при эксплуатации опасного производственного объекта;</p> <p>- проведению государственной экспертизы в области предупреждения чрезвычайных ситуаций;</p> <p>- государственному надзору и контролю по вопросам природной и техногенной безопасности;</p> |
| <p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</p> | <p><i>Техника безопасности;</i></p> |

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень | Подпись | Дата |
|-------------------|-------------|----------------|---------|------|
| Доцент, ОКД ИШМКБ | Бородин Ю.В | к.т.н, доцент | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-------------|---------|------|
| 5АМ6М | Дзариев Т.М | | |

| | |
|---|-----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 7 |
| 1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ РАБОТ ПО НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И СИСТЕМАМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА..... | 9 |
| 1.1 Причины появления отказов асинхронных двигателей..... | 12 |
| 1.2 Особенности конструкции и условия эксплуатации асинхронных двигателей для лифтов..... | 19 |
| 1.3 Методы моделирования эксплуатационной надежности асинхронных двигателей..... | 26 |
| Выводы..... | 28 |
| 2. СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЛИФТОВ..... | 29 |
| 2.1 Основное направление в изучении эксплуатационной надежности асинхронных двигателей для лифтов..... | 29 |
| 2.2 Структурная модель эксплуатационной надежности лифта..... | 32 |
| 2.3 Анализ отказов пассажирских лифтов по данным эксплуатации..... | 40 |
| 2.4 Математическая модель оценки эксплуатационной надежности асинхронных двигателей для лифтов по цензурированным данным..... | 45 |
| 2.5 Моделирование эксплуатационной надежности статоров..... | 53 |
| Выводы..... | 55 |
| 3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЛИФТОВ..... | 56 |
| 3.1 Математическая модель прогнозирования эксплуатационной надежности статоров асинхронных двигателей для лифтов | 56 |
| Выводы..... | 61 |
| 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ И РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ..... | 62 |
| 4.1 Выбор и обоснование структурной схемы электрооборудования..... | 64 |
| 4.2 Планирование работ..... | 66 |
| 4.3 Издержки на ремонт и эксплуатацию электроприводов..... | 70 |
| Выводы..... | 75 |
| 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ..... | 75 |
| 5.1 Безопасность персонала обслуживающего лифты | 76 |
| 5.2 Шум и вибрация..... | 80 |
| 5.3 Чрезвычайные ситуации..... | 83 |
| Заключение..... | 85 |
| Список литературы..... | 87 |
| Приложение 1 | 100 |
| Приложение 2..... | 103 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. В настоящее время пассажирские лифты в России достигли широкого распространения, в эксплуатации насчитывается их около 500 тысяч. Поэтому в центре внимания находится повышение качества и надежности лифтов, а также организация и проведение работ по техническому обслуживанию, ремонту и модернизации.

Конструкция пассажирского лифта состоит из довольно большого числа элементов, которые должны обеспечить его надежную работу при эксплуатации. Одним из таких элементов является электродвигатель привода лебедки. Как правило, приводы пассажирских лифтов, установленных в жилых домах, не требуют непрерывного регулирования частоты вращения и поэтому оборудованы асинхронными двухскоростными двигателями с короткозамкнутым ротором. Асинхронные двигатели для лифтов (АДЛ), как и любые другие электрические машины, проектируются на длительный срок функционирования, но по причине различных скрытых дефектов и недостатков эксплуатации могут выходить из строя значительно раньше. Отказы АДЛ влекут за собой длительный простой лифтов и являются достаточно дорогостоящими по исправлению. Причиной затрат времени и средств на восстановительные работы служит не столько сложность двигателей, сколько их масса. Большинство отказов невозможно устранить в машинном помещении, возникает необходимость транспортирования на ремонтный участок. В связи с этим огромную важность приобретает повышение надежности АДЛ, которое на этапе эксплуатации достигается применением эффективной стратегии технического обслуживания и ремонта (ТОиР). В настоящее время в нашей стране при ремонте элементов лифтов в жилых домах используется разработанная во второй половине прошлого столетия система планово-предупредительного ремонта (ППР). Обладая большими достоинствами, такая система не учитывает количественные показатели надежности элементов, в частности АДЛ, которые можно вычислить, имея статистический материал об их отказах, полученный в процессе эксплуатации. Но, несмотря на огромный парк пассажирских лифтов, отдельно по каждому из элементов статистика не

ведется. Информация об отказах лифтов и проведенных работах лишь фиксируется в общем журнале. Значительную трудность в сборе и обработке информации, необходимой для оценки эксплуатационной надежности АДЛ, представляет достаточно длительный процесс их эксплуатации, измеряемый иногда десятилетиями. Найти выход из сложившейся ситуации можно, прогнозируя случайный процесс возникновения отказов АДЛ, исходя из наблюдений за ними в прошлом. Вопросы прогнозирования состояния технических объектов на настоящем этапе развития науки становятся очень актуальными. Кроме того моделирование и прогнозирование эксплуатационной надежности таких двигателей невозможно осуществить с помощью классической теории надежности, так как эксплуатационная информация представляется в виде специфических данных предполагающих наличие как отказавших так и исправных двигателей. Кроме того большие возможности для этого появились с развитием компьютерной техники. Создание компьютерных программ снижает трудоемкость исследований и увеличивает их точность. В виду отсутствия в настоящее время эксплуатационной информации АДЛ и необходимости обеспечения и повышения их надежности ниже сформулированы основные направления исследования.

Цель работы. Исследование эксплуатационной надежности асинхронных двигателей для лифтов на основе информации об отказах узлов, прогнозирование их эксплуатационной надежности.

Комплекс задач, который необходимо решить для реализации поставленной цели:

1. Собрать и провести анализ статистического материала об отказах элементов пассажирских лифтов. Определить значимость каждого элемента лифта и выбрать наиболее важный агрегат для исследования эксплуатационной надежности.
2. Сформировать массив статистических данных двухскоростных асинхронных двигателей для лифтов, полученных в реальных условиях эксплуатации.

3. Проанализировать математическую модель оценки эксплуатационной надежности АДЛ, позволяющую оперативно оценивать показатели надежности на основе массива данных, состоящего из произвольных наработок до отказа.
4. Определить количественные значения показателей эксплуатационной надежности узлов АДЛ, используя сформированный массив данных.
5. Используя математическую модель прогнозирования, основой которой служит математическая модель оценки эксплуатационной надежности АДЛ, определить периоды эксплуатации и оценить остаточный ресурс.

1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ РАБОТ ПО НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И СИСТЕМАМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

Надежность асинхронных двигателей и проблема ее обеспечения

Наиболее используемыми в электротехнической промышленности являются асинхронные двигатели (АД), которые составляют более половины от выпускаемых электрических машин (ЭМ). Такое распространение АД получили благодаря простоте конструкции и достаточно высокой надежности.

Надежность – это способность безотказно работать с неизменными техническими характеристиками в течение заданного промежутка времени при определенных условиях эксплуатации [1].

Исследованиями в области надежности ЭМ занимались следующие ученые: Стрельбицкий Э.К., Гольдберг О.Д., Муравлев О.П., Похолков Ю.П., Вейбулл В., Р. Барлоу, Ф. Прошан, Х. Шенк, И.М. и другие [2-6].

Обеспечением надежности АД необходимо заниматься на всех этапах их жизненного цикла, то есть при проектировании, изготовлении и эксплуатации.

Проблема повышения надежности асинхронных двигателей возникла в середине XX века и обострялась по мере их совершенствования. Такая ситуация возникла в связи с тем, что на протяжении нескольких десятилетий в машиностроении

существовала тенденция снижения массы машин, а соответственно и увеличения нагрузок на активные материалы, значения показателей надежности при этом учитывались мало [7, 8]. Произошло уменьшение толщины межвитковой и корпусной изоляции, при этом увеличился нагрев обмоток и, как следствие, быстрое их старение. Изоляция обмоток АД состоит из изоляционных материалов пропитанных лаком и подвергнутых термообработке. Она представляет собой жесткую конструкцию и под воздействием температуры разлагается с образованием микротрещин, которые способствуют проникновению внутрь влаги. Насыщенная влагой изоляция теряет свои свойства, что приводит к межвитковым и корпусным замыканиям. Кроме того трещины становятся причиной разрушения изоляции при воздействии механических нагрузок и вибрации. Физические закономерности термического старения изоляции более подробно описаны в литературе [3, 9, 10].

В настоящее время при проектировании конкурентно способных АД прослеживается обратная тенденция: увеличение массы активных материалов для получения повышенных энергетических показателей. Причем увеличение в основном проводится за счет длины сердечников статора и ротора, что объясняется экономией средств на изготовлении новых штампов.

Итак, надежность АД закладывается на этапе их проектирования и неразрывно связана с решением экономических задач, поэтому проблема обеспечения надежности и оптимального проектирования является актуальной в настоящее время.

Для обеспечения надежности АД на этапе проектирования необходимо предусмотреть [11-13]:

- выбор электрических и магнитных нагрузок, которые одновременно обеспечат необходимую надежность АД определенного назначения и минимальные массогабаритные показатели;
- конструкцию узлов и средств охлаждения с учетом требований эксплуатации, но в то же время являющихся наиболее простыми;
- применение современных марок теплостойкой изоляции, обмоточных проводов и пропиточных составов;

– использование специальных защитных устройств, например, температурных датчиков, устанавливаемых в обмотки статора и подшипниковые узлы, которые предотвращают развитие аварийных ситуаций. На этапе изготовления АД для обеспечения заданной надежности наиболее важным фактором является технологическая дисциплина [14]. Наибольшее количество дефектов двигателей обнаруживается именно по этой причине. К основным недостаткам производства относятся: изношенность инструмента и оборудования; низкая квалификация рабочих; несоблюдение режимов обработки деталей и технологии сборки; замены сортности материалов; низкое качество контроля по операциям. Повышения технологической надежности АД можно достигнуть, осуществляя входной контроль физических свойств материалов и качество покупных комплектующих изделий, отбраковывая несоответствующие нормативно-технической документации; повышая культуру производства и проводя приемо-сдаточные испытания двигателей [6].

В настоящее время при рыночных условиях хозяйствования наибольшее внимание уделяется эксплуатационной надежности (ЭМ) АД, так как оптимальная система текущего обслуживания и ремонта позволяет значительно сэкономить финансовые ресурсы предприятий их эксплуатирующих [1, 6].

На этапе проектирования надежность АД определяется расчетным путем по формулам теории надежности [6, 15] и состоит из надежностей узлов, в основном обмоток статора, ротора и подшипниковых устройств. Вероятности безотказной работы (ВБР) обмоток рассчитываются по методикам О.Д. Гольдберга и Б.Н. Ванеева, Э.К. Стрельбицкого и Ю.П. Похолкова [3, 6, 16]. Определение надежности подшипниковых устройств при механическом износе и долговечности смазки рекомендуется проводить по стандартным методикам [17]. Аналитические методы обладают ограниченной достоверностью в виду своей трудоемкости. Для их упрощения необходимо является учет ограниченного количества физических процессов и введение допущений, что снижает точность результатов [15, 18].

Наиболее перспективным подходом оценки надежности объектов на этапе проектирования считается имитационное моделирование, которое позволяет повысить достоверность результатов при помощи учета динамики внутренних и внешних факторов [19]. После изготовления АД возникает возможность определения количественных показателей надежности при лабораторных ускоренных испытаниях, которые проводятся по специально разработанным методикам [20]. Недостатком проведения ускоренных испытаний является изготовление опытных образцов двигателей, которые не подлежат поставке заказчику, что приводит к дополнительным затратам. Поэтому испытания в основном проводят только крупные предприятия-изготовители, остальные ограничиваются теоретическими расчетами. Высокая достоверность и объективность информации о надежности обеспечивается наблюдением за серийными образцами АД непосредственно в определенных условиях эксплуатации, учитывающих нагрузочные режимы, климатические воздействия и особенности технического обслуживания, которые невозможно воспроизвести в условиях лаборатории. Между тем при использовании этого метода сбора информации возникают трудности:

- длительный период для наблюдений за АД, так как они являются высоконадежными и невозможно получение достаточного количества их отказов за небольшой промежуток времени;

- недостаточное количество контрольно-измерительной аппаратуры и квалифицированного обслуживающего персонала, способного качественно вести учет информации об отказах и результатах дефектации АД;

- трудоемкость сбора информации об объектах исследования на различных предприятиях либо территориально удаленных друг от друга.

Несмотря на перечисленные трудности с помощью эксплуатационных наблюдений получают основную информацию об отказах АД, что позволяет решить следующие задачи:

- выявление наиболее слабых узлов и деталей, которыми определяется надежность АД в целом и причин возникновения их отказов;

- установление закономерности изменения надежности узлов АД под

воздействием тех или иных условий окружающей среды;

- выявление недостатков проектирования, изготовления и эксплуатации;

- уточнение показателей надежности, установленных в нормативно-технической документации на конкретный тип АД;

Решение отмеченных задач позволяет разработать рекомендации для повышения надежности АД на всех стадиях их жизненного цикла.

Для совершенствования системы текущего обслуживания и ремонта значительную роль играет прогнозирование технического состояния АД, которое также невозможно осуществить, не имея достаточной эксплуатационной информации [15, 21-23]. Надежность электрических машин сочетает в себе такие свойства как безотказность, долговечность и ремонтпригодность. Поэтому для обеспечения и повышения надежности необходимо прогнозирование закономерностей их изменения во времени.

Вопросы прогнозирования технических объектов в настоящее время становятся очень актуальными. Они имеют тесную связь с вопросами теории надежности и технической диагностики [24]. Прогнозирование нацелено на предотвращение отказов объектов на основе определения их технического состояния на некоторое время вперед и своевременного проведения технических мероприятий. Главным инструментом прогнозирования является техническая диагностика, позволяющая находить дефекты на ранних стадиях их развития. Особенное значение прогнозирование имеет при эксплуатации высоконадежных АД, так как здесь нет возможности для ориентирования на произошедшие отказы. Кроме того создание наиболее подходящей системы обслуживания и ремонта должно проводиться для каждого конкретного типа АД эксплуатируемых в одинаковых условиях.

Решение вопросов прогнозирования невозможно без определения количественных показателей надежности с помощью различных методов теории надежности [25]. При сборе статистической информации об отказах исследуется определенная выборка АД. Классическая теория надежности позволяет определить показатели только при условии, что все двигатели

выборки отказали, для этого требуется достаточно большой промежуток времени как при эксплуатационных наблюдениях, так и при лабораторных испытаниях [15, 18].

При необходимости оперативной оценки их надежности, когда требуется прекращение наблюдений или испытаний, а также при исследовании высоконадежных АД с малым количеством отказов возникает специфическая выборка, состоящая из отказавших и не отказавших двигателей, которая носит название цензурированной [26-29]. Наличие цензурирования снижает точность оценки показателей надежности и требует определенного подхода, поэтому разработка и совершенствование методов оценки таких выборок является наиболее современным направлением в развитии теории надежности. Кроме того большие возможности для этого появились с развитием компьютерной техники. Создание компьютерных программ снижает трудоемкость исследований и увеличивает их точность.

1.1 Причины появления отказов асинхронных двигателей

Для оценки надежности АД большое значение имеет определение причин появления отказов. В соответствии с ГОСТ, отказ – это нарушение работоспособности объекта, то есть состояние, при котором какой-либо из параметров не соответствует установленному к нему требованию в нормативно-технической документации [30]. Зная причины возникновения отказов можно более точно нормировать показатели надежности, определять влияние отдельных узлов на надежность двигателя в целом, подготовить материально-техническую базу для оперативного устранения возникших неполадок, более эффективно проводить диагностику технического состояния, планировать сроки и объемы технического обслуживания и ремонта. Основным источником такой информации является дефектация на местах эксплуатации АД при проведении текущих ремонтов и ремонтных предприятиях при проведении капитальных ремонтов.

Отказы асинхронных двигателей возникают под воздействием различных

факторов на их узлы и детали, которые разделяются на механические и электрические. К механическим факторам можно отнести недостатки изготовления и неточности, допущенные при сборке, которые становятся причиной вибрации двигателей, приводя к отказам двигателей.

Механические факторы вызывают:

- деформацию вала, приводящую к эксцентриситету ротора;
- поломку вала и крыльчатки;
- износ подшипников;
- ослабление крепления листов сердечника ротора и статора;
- ослабление крепления статора к станине.

Кроме того к перечисленным отказам приводит несимметрия питающей сети. Около 2 % приходится на долю отказов, связанных с перегрузкой на валу [31]. Такие отказы приводят к еще большей вибрации двигателей и могут стать причиной появления микротрещин в системе изоляции обмотки статора и, как следствие, к ее увлажнению, снижению сопротивления и межвитковому замыканию.

Отказы по напряжению (сетевые) связаны с изменением напряжения в сети, обрывом фаз и замыканием одной из питающих фаз на другую, на их долю приходится 80 % отказов двигателей [31]:

- при повышении напряжения сети – возрастает ток статора;
- при обрыве питающего кабеля и соединении обмоток двигателя в звезду, напряжение в одной фазе отсутствует, а в двух других составляет половину от линейного напряжения;
- при обрыве кабеля и замыкании его на фазу двигателя, в одной из фаз напряжение соответствует номинальному, а на две другие фазы подается одно и тоже фазное напряжение.

Указанные причины (увеличенный ток статора и несимметрия напряжения) приводят к повышенному нагреву обмотки статора, и, как следствие, к

ускоренному старению изоляции.

Отказы по току (токовые), вызванные протеканием в обмотках статора или ротора токов перегрузки или короткого замыкания. Такие токи возникают вследствие обрыва проводников, межвиткового и межфазного замыкания обмоток, нарушения паяных или сварных контактов в обмотках, приводят к пробой изоляции в результате чрезмерного нагрева.

Отказы по сопротивлению, то есть отказы, связанные с недопустимым снижением сопротивления изоляции обмоток, по причине их загрязнения, увлажнения, а также старения.

В настоящее время разработано и эксплуатируется большое количество серий АД, имеющих различное назначение: для башенных кранов, привода лифтов, рольганговые, взрывозащищенные, общепромышленного назначения и другие. Поэтому воздействие на них температуры окружающей среды, влажности, специфических сред, вибрации и других факторов различно. Внутри каждой серии двигатели различаются по мощности, частоте вращения и монтажному исполнению, что также влияет на распределение отказов по узлам. В существующей литературе встречается информация только по некоторым отраслям промышленности, полная картина отсутствует [3, 6, 26, 32]. Исследованием надежности ЭМ и систематизацией их отказов начали заниматься после 60-х годов 20 века. Основные результаты были получены при отработке конструкции, технологии изготовления, а также при разработке методов испытаний. Полученная информация достаточно разнородна. Л.Н. Кузнецовым опубликованы работы по исследованию надежности АД общепромышленного назначения [1]. Автор утверждает, что в (85-95) % отказы АД происходят по причине выхода из строя обмоток статора. Причем на долю межвитковых замыканий приходится 93 % отказов, пробой междуфазовой изоляции – 5 % и пробой изоляции в пазах – 2 %. Отказы подшипниковых устройств составляют всего (5-8) %.

К недостаткам конструкции и технологии производства они относят примерно (30-35) % отказов и лишь (10-12) % АД выходят из строя из-за старения изоляции и износа деталей.

Наиболее новые сведения, в части отказов низковольтных двигателей приведены в литературе [31] на основе опроса. Определяющим фактором является перегрузка АД и перегрев обмотки статора (31 %). По причине межвиткового замыкания выходят из строя 15 % двигателей. Механические повреждения обмоток статора или изоляции составляют 11 % отказов, а обрыв фазы – 8 %. По сравнению с более ранними исследованиями увеличилось количество отказов по причине воздействия механических факторов:

- повреждение подшипников – 12 %;
- обрыв стержней в короткозамкнутой клетке ротора – 5 %;
- неравномерный воздушный зазор – 9 %;
- ослабление крепления статора или обмоток – 4 %;
- несоосность валов – 2 %;
- дисбаланс ротора – 3 %.

Общепромышленные двигатели были исследованы на примере асинхронных двигателей, установленных в оборудовании АК "АЛРОСА" с 2000 г. по 2007 г. [26, 27, 34] в большом диапазоне мощностей, частотой вращения от 750 до 3000 об/мин. Анализ надежности показал, что наиболее часто отказывают АД с большей частотой вращения. Например, двигатели, имеющие скорость 750 об/мин., выходили из строя в 9 % случаев, а со скоростью 1000-3000 об/мин. – в (24-35) %. Большинство отказов (68,1 %) носят эксплуатационный характер, остальные варьируют в пределах (4,6-15,3) %. Наиболее интересными можно назвать исследования приспособленности различных серий АД к условиям алмазодобывающего комплекса. Так двигатели общепромышленного назначения серии АО показали большую надежность. Дальнейшее совершенствование эксплуатационной надежности шло по пути снижения активных и конструктивных материалов, поэтому серия 4А и более поздняя серия 5А показали уже большую долю отказов. Крановые двигатели с короткозамкнутым ротором серии МТКФ, фазным ротором серий МТФ и МТН, взрывозащищенные серий ВПР, ВАО с точки

зрения эксплуатации в данных условиях имеют низкий уровень надежности. Двигатели серий ДАФЗ и СДМ оказались наименее приспособленными к технологическим режимам алмазодобывающей промышленности. Причинами отказов АД послужило, в основном, разрушение изоляции статора и ротора обмоток, недопустимое снижение сопротивления увлажненной изоляции, а также высокий уровень вибрации и уровень технического обслуживания.

Большое количество работ посвящено взрывозащищенным двигателям, как наиболее ответственному электрооборудованию [6]. Исследования показали, что взрывозащищенные двигатели, так же как и двигатели общепромышленного назначения выходят из строя по причине отказов статорных обмоток (60-80) %. Даже не смотря на то, что они проектируются более надежными. Особое внимание при разработке обмоток уделяется не столько температуре нагрева, сколько скорости ее нарастания. И так, (50-70) % – это межвитковые замыкания, и по (3-15) % – пробой межфазной и пазовой изоляции [6]. Снижение сопротивления изоляции было зафиксировано в (3-4) % случаев отказов АД. Подшипниковые устройства отказали в (5-20) % случаев.

Исследования в области надежности крановых АД в период с 2007-2012 годы на предприятии ООО "Юргинский машиностроительный завод", показали следующее распределение отказов по основным узлам [35]:

- обмотки статора – (66-70) %;
- обмоток ротора – (29-31) %;
- подшипников – (1-3) %.

При этом в условиях повышенной температуры окружающей среды и при наличии агрессивных сред, количество отказов обмоток статора и ротора возрастает, а подшипниковых устройств – уменьшается.

Подводя итоги, можно сказать:

Отказы АД возникают под воздействием механических и электрических факторов на их узлы и детали. К механическим факторам относятся недостатки изготовления и сборки. Отказы, произошедшие по причине электрических

факторов, делятся на три типа: по напряжению, по току и по сопротивлению.

1.2 Особенности конструкции и условия эксплуатации асинхронных двигателей для лифтов

Роль пассажирского лифта в современном мире непрерывно возрастает в связи с тем, что прослеживается тенденция повышения этажности зданий. Наиболее массово лифты стали вводиться в эксплуатацию в 80-е годы прошлого века. По различным источникам в настоящее время их насчитывается около 500 тысяч. При этом непременно лифты должны быть комфортабельными и надежными. Лифт состоит из большого количества узлов и деталей, которые обеспечивают его надежность и работоспособность. Отказ любого из них ведет к вынужденному простоя лифта, а соответственно, финансовым затратам эксплуатирующих организаций. Одним из таких элементов и является асинхронный двигатель. Для обеспечения и повышения эксплуатационной надежности асинхронных двигателей для лифтов, необходимо четко представлять особенности конструкции и условия, в которых они эксплуатируются. Все лифты вне зависимости от количества этажей здания работают в циклическом режиме, состоящем из разгона кабины, затем ее движения и при достижении необходимого этажа торможения. Количество и длительность таких циклов зависит от этажности и назначения здания, в котором установлен лифт (общественное здание, жилой дом), количества людей, использующих его, а также количества параллельно работающих лифтов в здании. В таблице 1.1 представлены результаты исследований показателей режимов работы лифта [36].

Таблица 1.1 - Машинное время и число включений (циклов) в сутки (в год) пассажирских лифтов в зависимости от этажности дома.

| Этажность дома | Время работы в сутки, час | Число включений в сутки |
|----------------|---------------------------|-------------------------|
| 4 – 6 | 2,5 – 3 | 350 – 370 |
| 7 – 9 | 3 – 4 | 371 – 550 |
| 10 – 15 | 4 – 5 | 551 – 860 |
| 16 – 24 | 5,5 – 7 | 861 – 3000 |

Также от этажности зданий зависят и режимы нагружения, то есть количество пассажиров и груза, одновременно находящихся в лифте. Наблюдения показали, что в 5-9 этажных зданиях – это 1-2 человека, в 14-22 этажных – 2-4 человека [37]. Соответственно, с увеличением количества этажей здания, установленные в них лифты, эксплуатируются в наиболее нагруженном режиме. Из вышесказанного следует, что режимы работы двигателей, установленных в различных зданиях, также будут различными. С целью оптимальной эксплуатации было разработано большое количество типоразмеров асинхронных двигателей, применяемых в приводе лифтов, имеющих скорость передвижения 0,25-1,6 м/с и грузоподъемность 240-500 кг [38]. Кроме того лифтовые асинхронные двигатели разделяются на двухскоростные с независимыми обмотками статора и односкоростные, предназначенные для регулирования их частоты вращения при помощи преобразователя частоты. Наличие преобразователя приводит к значительному удорожанию привода, что является экономически неоправданным в жилых домах. Частотно-регулируемый привод целесообразно применять в больницах, где требуется высокая точность остановки кабины на этажах, а также в домах от 12 до 40 этажей и выше и в административных зданиях [39, 40].

Данные, представленные в таблице 1 наглядно показывают, что число включений и время работы двигателей, даже для однотипных лифтов, установленных в зданиях одинаковой этажности, изменяются в широких пределах, что усложняет практический выбор асинхронных двигателей. Характеристики выбранного двигателя применяются при проектировании, как

привода, так и лифта в целом. Отличительной особенностью двухскоростных АДЛ от других серий асинхронных двигателей является большой пусковой момент, который должен превышать момент сопротивления кабины в состоянии покоя, и обеспечиваемый в большой степени повышенным сопротивлением клетки ротора. Грамотный выбор АДЛ в части полезной мощности, номинальной частоты вращения, пускового и номинального моментов является одним из этапов обеспечения надежной работы пассажирского лифта [40-42].

Целью нашего исследования является изучение эксплуатационной надежности уже установленных в пассажирских лифтах двигателей, поэтому нет необходимости в выборе их характеристик. Следовательно, проведем обзор приводов используемых в лифтах грузоподъемностью до 400 кг жилых домов этажностью от 8 до 17. Это приводы, оборудованные асинхронными двухскоростными двигателями, имеющими малошумное исполнение. Уровень шума таких двигателей задан в технической документации для номинального и переходных режимов работы. Среднеквадратичные значения вибрационной скорости асинхронных двигателей для лифтов габаритов 160, 180 мм не превышает 1,8 мм/с, асинхронных двигателей для лифтов габаритов 200, 225 мм - 2,8 мм/с. Виды климатического исполнения АДЛ – УЗ, ТЗ и УХЛ4 по ГОСТ [43], краткая характеристика которых приведена в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Характеристика климатических исполнений АДЛ

| Вид климатического исполнения | УЗ | ТЗ | УХЛ4 |
|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Макроклиматический район | Умеренный климат | Тропический климат | Умеренный и холодный климат |
| Категория размещения | В нерегулярно отапливаемых помещениях | В нерегулярно отапливаемых помещениях | В помещениях с частично кондиционированным воздухом, а также в |

| | | | |
|--------------------------------------|----------------|----------------|---|
| | | | лабораторных и капитальных жилых помещениях |
| Верхняя рабочая температура | + 45 °С | + 60° С | + 40 °С |
| Нижняя рабочая температура | – 50 °С | – 10 °С | + 1 °С |
| Максимальная относительная влажность | 98 % при 25 °С | 98 % при 35 °С | 80 % при 25 °С |

Асинхронные двигатели для лифтов изготавливаются защищенными от твердых тел размером более 50 мм и не имеют специальной защиты от воды (IP10 по ГОСТ [44]), по способу охлаждения могут быть с самовентиляцией, охлаждаемые вентилятором, расположенным на валу (IC01 по ГОСТ [45]) либо иметь независимую вентиляцию. На рис. 1.1 приведен общий вид асинхронного двигателя для лифтов.

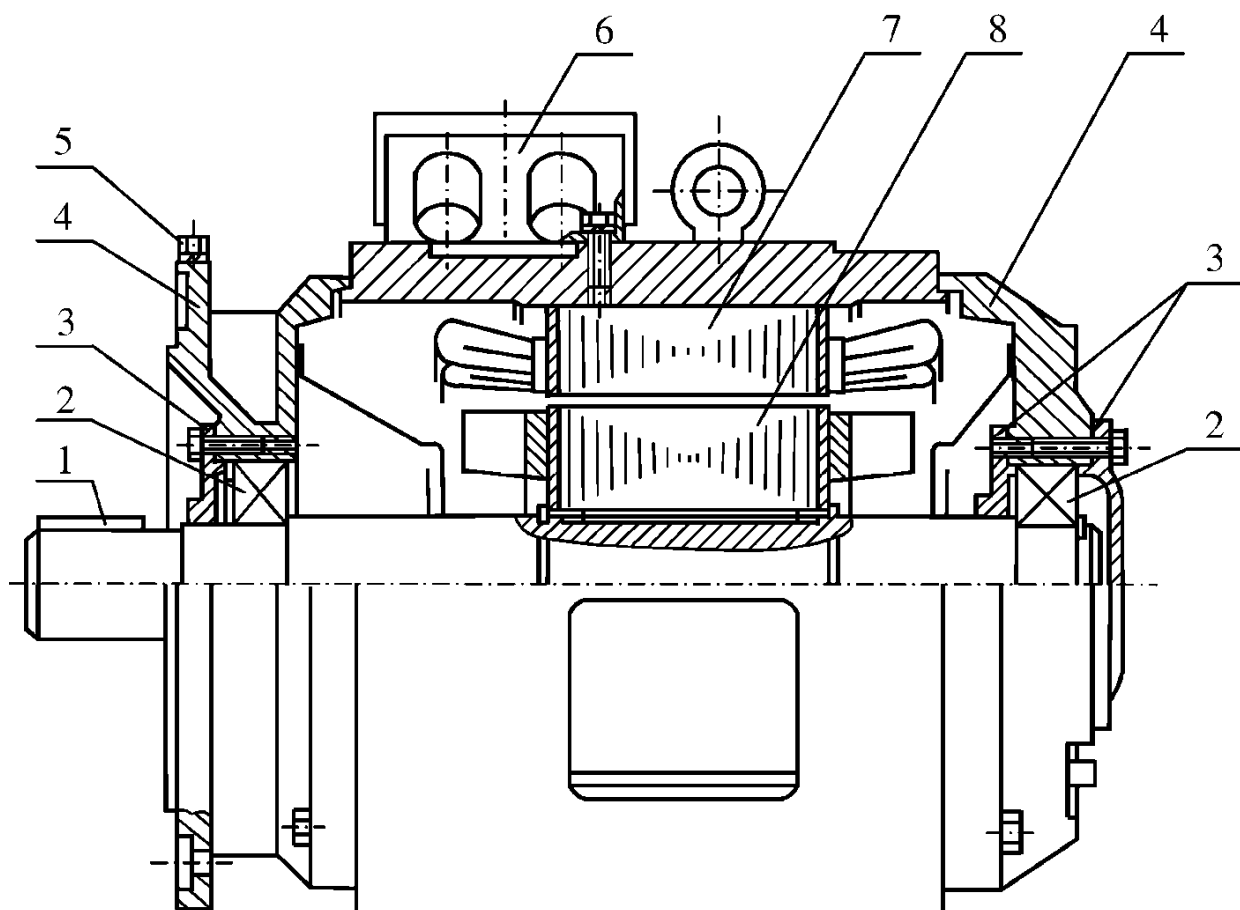


Рисунок 1.1 - Общий вид АДЛ:

1 – шпонка; 2 – подшипники; 3 – крышки подшипника; 4 – щиты подшипниковые; 5 – болт заземления; 6 – вводное устройство; 7 – статор; 8 – ротор.

В сердечник статора двигателей уложены две независимые трехфазные обмотки из круглого эмалированного провода, позволяющие АДЛ работать с различными скоростями ротора. Обмотка большой скорости имеет число пар полюсов ($2p$) в 3 ($2p = 6/18$), 4 ($2p = 4/16$, $2p = 6/24$) или 6 ($2p = 4/24$) раз меньше, чем у обмотки малой скорости. Выводные концы соединенных в "звезду" фаз обмоток выведены в коробку выводов и закреплены на клеммной панели. В две фазы обмоток встраиваются датчики температурной защиты (ДТЗ), предназначенные для отключения двигателя при повышении температуры его обмоток до 145°C , при независимой вентиляции в третью

фазу встраиваются датчики включения вентилятора с температурой срабатывания 115°C, так как изоляционные материалы обмоток класса нагревостойкости "F", допускающие температуру нагрева до 155°C по ГОСТ [46]. Ротор АДЛ имеет короткозамкнутую обмотку, выполненную литой из алюминиевого сплава, имеющего повышенное сопротивление, так как к АДЛ предъявляются повышенные требования к пусковому моменту. АДЛ эксплуатируются в периодическом повторно-кратковременном режиме с частыми пусками и электромагнитным торможением [49]. По способу монтажа все двигатели могут изготавливаться в исполнении IM3001 и IM3002 по ГОСТ [47], то есть без лап, с фланцем на одном подшипниковыми щите, с одним или двумя концами вала. Показатели надежности устанавливаются в технических условиях на конкретный тип двигателей [48, 49]. Расчетные показатели для асинхронных двигателей 4АМН160НЛБ и 4АМН180НЛБ изготавливаемых Ярославским электромашиностроительным заводом приведены в табл. 1.3 [49]. Расчетные показатели для асинхронных двигателей 5АМН160НЛБ и 5АМН180НЛБ изготавливаемых Владимирским электромоторным заводом приведены в табл. 1.4 [48].

Таблица 1.3 - Показатели надежности и долговечности двигателей 4АМН160НЛБ и 4АМН180НЛБ

| Показатель | Значение |
|---|--|
| Вероятность безотказной работы | 0,9 за 10000 часов в номинальном режиме работы |
| Средний срок службы до капитального ремонта | 8 лет |
| Средний ресурс до капитального ремонта | 20000 часов |
| Средний срок службы | Не менее 15 лет при общей наработке 40000 часов |
| Расчетная долговечность подшипников | 12000 часов |

Таблица 1.4- Показатели надежности и долговечности двигателей
5AMH160HЛБ и 5AMH180HЛБ

| Показатель | Значение |
|--|----------------------|
| Средний ресурс до капитального ремонта | Не менее 24000 часов |
| Средняя наработка на отказ | Не менее 18000 часов |

1. Для эксплуатации лифтов в широком диапазоне грузоподъемности разработано огромное количество типоразмеров лифтовых двигателей, отличающихся как электромеханическими характеристиками, так и конструкцией. В результате анализа было определено, что в жилых зданиях в настоящее время применяются двухскоростные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. В более ответственных зданиях с повышенными требованиями к точности остановки кабины, а также в многоэтажных и административных зданиях рекомендуется применять двигатели, управляемые с помощью частотных преобразователей.
2. Огромное значение в обеспечении надежности на начальном этапе эксплуатации зависит от грамотного выбора характеристик АДЛ, к которым относятся номинальные мощность и скорость вращения, пусковой и номинальный моменты, используемые в дальнейшем для проектирования привода лебедки лифта.
3. Основными отличительными особенностями АДЛ, установленных в жилых домах от других серий двигателей является повышенное значение пускового момента, наличие двух обмоток обеспечивающих плавное движение кабины лифта, наличие встроенных датчиков температурной защиты, работа в периодическом повторно-кратковременном режиме с частыми пусками и электромагнитным торможением, малошумное исполнение.

1.3 Методы моделирования эксплуатационной надежности асинхронных двигателей

В настоящее время для оценки параметров надежности любых технических систем существует множество методов, которые подразделяются на три направления: вероятностно-статистические, физико-статистические, структурные [30, 50-52]. Асинхронные двигатели представляются системой, состоящей из узлов и деталей, поэтому перечисленные методы также можно использовать для анализа их надежности. Причем точность оценки количественных показателей зависит от корректного выбора метода [53].

Вероятностно-статистические методы моделирования предусматривают использование математической статистики и теории вероятности. Они основаны на изучении статистической информации об отказах асинхронных двигателей, предусматривают ее сбор и обработку. Далее проводится аппроксимация статистики отказов и выбирается наиболее адекватная модель надежности [1]. При этом физические состояния узлов и деталей двигателей не учитываются, фиксируется только факт отказа. Кроме того исследования должны проводиться только при помощи наблюдений за асинхронными двигателями, имеющими одинаковое назначение, эксплуатирующихся в одинаковых климатических условиях, имеющих однотипную конструкцию, электромеханические характеристики и похожую систему технического обслуживания. Эти методы имеют один существенный недостаток – требуют значительного времени для эксплуатационных наблюдений. В целях экономии времени были разработаны ускоренные испытания. Асинхронные двигатели испытываются при повышенных нагрузках, а затем, используя формулы пересчета, определяется техническое состояние деталей в условиях реальной эксплуатации. Первые работы в области вероятностно-статистических методов были проведены Р. Хевилендом и В. Вейбуллом. Позднее ими занимались ученые: В.Г. Щербаков, Р. Барлоу, Ф. Прошан, Х. Шенк, И.М. Комлев, И.Б. [2, 5, 27, 34,]. Недостатком вероятностно-статистических методов является то, что

они не учитывают физику отказов, и могут иметь систематические погрешности. При эксплуатации асинхронных двигателей на них воздействуют внешние факторы, климатические условия и внутренние факторы. В зависимости от воздействия, скорость износа деталей и старение изоляции будет различаться. Следовательно, изменяются и параметры надежности.

Физико-статистические методы моделирования предполагают определение зависимости между различными физическими и физико-химическими процессами, которые происходят в структуре применяемых материалов и надежностью узлов АД [61]. Для повышения точности разработки физических моделей отказов объединяют информацию о физических процессах, описанных уравнениями, и статистическую информацию, полученную при эксплуатации. Выходы из строя АД по причине межвиткового и межфазного замыкания в обмотках статора являются наиболее частым явлением. В работах О.Д. Гольдберга доказано, что замыкание происходит при повышенном напряжении между соседними витками. Поэтому надежность обмоток зависит от характеристик и состояния изоляции, из которых наиболее показательным является значение пробивного напряжения [3]. Исследования Г.И. Фукс в части влияния смазок на надежность узлов трения механизмов показали, что преобладающее влияние на показатели эксплуатационной надежности оказывает качество изготовления поверхностного слоя элементов [62]. В работах А.А. Воробьева, С.Н. Журкова приведена "кривая жизни" полимерной изоляции, разрушение которой зависит от подведенной к ней энергии вне зависимости от ее природы [18]. Большое применение нашел, предложенный К. Пирсоном метод моментов [76]. Сущность метода состоит в приравнивании эмпирических и теоретических моментов распределения [68, 76, 82, 83]. При модернизации этого метода был получен метод Менона. Здесь проводится перевод от одной переменной к другой с экспоненциальным распределением. Еще одним методом оценки является метод квантилей, в котором также приравниваются теоретические и эмпирические значения, только уже вероятностей отказов [76, 82, 83]. В заключении отметим: для моделирования

эксплуатационной надежности лифтовых АД при имеющейся информации об отказах, наиболее целесообразно применять вероятностно-статистические методы. Они являются более простыми по сравнению с физико-статистическими методами, но в тоже время, дают точные оценки показателей надежности при условии корректного выбора метода. Структурные методы моделирования чаще используются на этапе проектирования систем с большим количеством элементов. Они дают предварительную оценку надежности, необходимую для своевременной доработки изделий. Поэтому структурные методы не нашли применения при моделировании эксплуатационной надежности АДЛ.

Выводы.

В данном разделе квалификационной работы были разобраны причины появления отказов. Анализ показал что отказы могут возникать под действием механических и электрических сил. Механические обусловлены недостатком качества сборки. Электрические отказы бывают: по току, по напряжению и по сопротивлению. Отказы по узлам: обмотки статора – (66-70) %, обмоток ротора – (29-31) %, подшипников – (1-3) %. Проанализировали какие существуют методы моделирования и проектирования надежности АДЛ, особенности их конструкции. Можно сделать вывод, что в настоящее время существует много методов моделирования, расчета и прогнозирования эксплуатационной надежности.

2. СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЛИФТОВ

2.1 Основное направление в изучении эксплуатационной надежности асинхронных двигателей для лифтов.

Конечной целью изучения эксплуатационной надежности лифтовых асинхронных двигателей является повышение надежности и безопасности использования лифтов в целом. При этом необходимым условием должно быть снижение финансовых ресурсов, затраченных на восстановление и поддержание в работоспособном состоянии элементов АДЛ. Двигаясь к указанной цели, необходимо в первую очередь установить перечень элементов лифта, наиболее существенно влияющих на его надежность, и определить является ли асинхронный двигатель основного привода лебедки таким элементом. Лифт работает как единая система и не имеет смысла изучать надежность какого-либо из его элементов изолированно от других. Инструментом для решения задачи может служить системный анализ, позволяющий выполнять детализацию исследуемого объекта и определять степень влияния надежности элементов на общую надежность лифта, а также облегчает сбор информации об отказавших узлах и деталях в процессе эксплуатации [105-107]. Построение структурной схемы лифта даст возможность определить значимость каждого элемента методом экспертных оценок [108]. Распределение отказов по элементам не несет в себе полной информации. Так как элементы с большим количеством отказов могут иметь малое время восстановления и наоборот, например, отказы АДЛ приводят к длительному простоему лифтов, хотя происходят значительно реже, чем отказы осветительных ламп. Еще одним определяющим фактором является стоимость восстановительных работ. Итак, определение коэффициентов относительной важности методом экспертных оценок поможет учесть весь спектр факторов и более эффективно распределить ресурсы для достижения главной цели.

Основные варианты опроса экспертов:

1. Подцели каждого уровня ранжируются в зависимости их важности для достижения уровня общей цели.
2. Подцели ранжируются в зависимости их важности для цели, которой они подчинены.

Наиболее предпочтительнее использовать второй вариант опроса, так как соизмерять и анализировать подцели значительно проще по отношению к цели предыдущего уровня, чем по отношению к уровню общей цели, а затем провести нормировку и получить окончательные значения коэффициентов относительной важности (КОВ). Следует отметить, что первый вариант опроса применительно к многоуровневым деревьям целей практически не выполним.

Для получения однородной информации исследования должны проводиться в приблизительно одинаковых условиях, то есть здания, в которых установлены лифты, должны быть близкой этажности и назначения. Лифты, в свою очередь, должны иметь одинаковую конструкцию и грузоподъемность, а соответственно укомплектовываться АДЛ однотипной конструкции, приблизительно одинаковой мощности и частоты вращения. Большое значение имеет выявление электрических и механических факторов приводящих к отказам двигателей того или иного вида. Исключение по возможности их действия приведет к повышению надежности АДЛ.

Следующим этапом должен являться выбор и определение показателей, необходимых для оценки надежности АДЛ. Такими показателями могут являться показатели безотказности (вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа, наработка на отказ), долговечности (ресурс до капитального ремонта), ремонтпригодности (среднее время восстановления), а также комплексные показатели надежности (коэффициент готовности, коэффициент технического использования) [1]. Выбор метода исследования зависит от особенностей информации, поступающей в процессе эксплуатации. Автором выявлено, что в настоящее время сбор эксплуатационной информации о лифтовых асинхронных двигателях не проводится. В диспетчерских журналах

ежедневно фиксируется время всех остановок лифта, их причины и проведенные работы, вне зависимости от вышедшего из строя элемента. Записанная информация в большей степени зависит от добросовестности и квалификации обслуживающего персонала. Современные лифты оборудованы системой управления, фиксирующей коды ошибок, но конкретную информацию можно получить только после более детального осмотра АДЛ электромехаником. Сбор информации усложняется из-за отсутствия датчиков наработки, невозможно определить точное время работы АДЛ. Итак, единственной информацией, которую возможно получить, является дата отказа того или иного двигателя и его причина, поэтому для моделирования эксплуатационной надежности АДЛ наиболее целесообразно применять вероятностно-статистические методы. Они одновременно являются простыми и дают точные оценки показателей надежности при условии их корректного использования. Вероятностно-статистические методы разделяются на параметрические и непараметрические. Непараметрические методы достаточно просты в использовании, но не позволяют делать долгосрочные прогнозы, точность их не достаточно исследована в отличие от параметрических, и на этапе оценки эксплуатационной надежности они не применимы. Кроме того отказы любых технических устройств делятся на приработочные, износные и внезапные. Каждый тип отказов характеризуется своим статистическим законом распределения и требует различной математической обработки [1], что еще раз подтверждает правильность выбора параметрических методов моделирования. Объективный выбор закона распределения (нормального, логнормального, экспоненциального, Вейбулла) осуществляется путем формирования исходного массива данных, состоящего из наработок на отказ и наработок до цензурирования и расчета коэффициента корреляции, показывающего степень согласия теоретического и эмпирического распределений [109, 110].

Оценить надежность АДЛ, имеющих малое количество отказов невозможно с помощью классической теории надежности. Статистическая информация,

полученная в процессе эксплуатации, представляется в виде цензурированных данных. В качестве данных, в нашем случае, используются значения наработок отказавших и не отказавших АДЛ. Цензурирование – это событие, приводящее к прекращению наблюдения за объектом до наступления отказа определенного вида или предельного состояния [20]. Данные, полученные при этом носят название цензурированных, а сформированные из них выборки, соответственно, цензурированных выборок (ЦВ). При этом наработки до отказа принято называть полными наработками, а наработки до прекращения наблюдений – неполными.

2.2 Структурная модель эксплуатационной надежности лифта

Каждый пассажирский лифт работает как единая система и для обеспечения его бесперебойной работы необходимо повышение надежности его элементов, одним из которых является асинхронный двигатель основного привода лебедки. Конструкция лифта состоит из довольно большого числа элементов и на начальном этапе сложно оценить влияние надежности определенного элемента на надежность лифта в целом. Возникает необходимость в разработке структурной модели.

Поставленную задачу автором решено осуществить при помощи системного анализа [105-107]. Для этого пассажирский лифт выделим из окружающего мира и считаем единой системой. Детализация составных элементов системы проведена с использованием общего вида лифта (рис. 2.2) и руководства по эксплуатации на пассажирский лифт [111], дающего более полное представление о его структуре.

Пассажирский лифт грузоподъемностью до 400 кг состоит из следующих основных частей: лебедки, кабины с приводом дверей, дверей шахты, противовеса и подвески, направляющих движения, оборудования приямка, установки конечного выключателя (с ограничителем скорости), шунтов и датчиков, вспомогательного электрооборудования [112-115].

Транспортирование груза и пассажиров проводится в кабине (2), перемещающейся по вертикально установленным направляющим движения (4).

Направляющие движения (3, 4) обеспечивают фиксированный путь движения кабины и противовеса (10), исключают их разворот вокруг вертикальной оси и раскручивание. Движение кабины обеспечивает лебедка (1), которая установлена в машинном помещении (7). Там же установлен конечный выключатель с ограничителем скорости (9), служащие для приведения в действие ловителей кабины (противовеса) при ее движении вниз со скоростью превышающей допустимую. На каждом этаже для входа и выхода из кабины шахта имеет проемы, закрытые дверями (5).

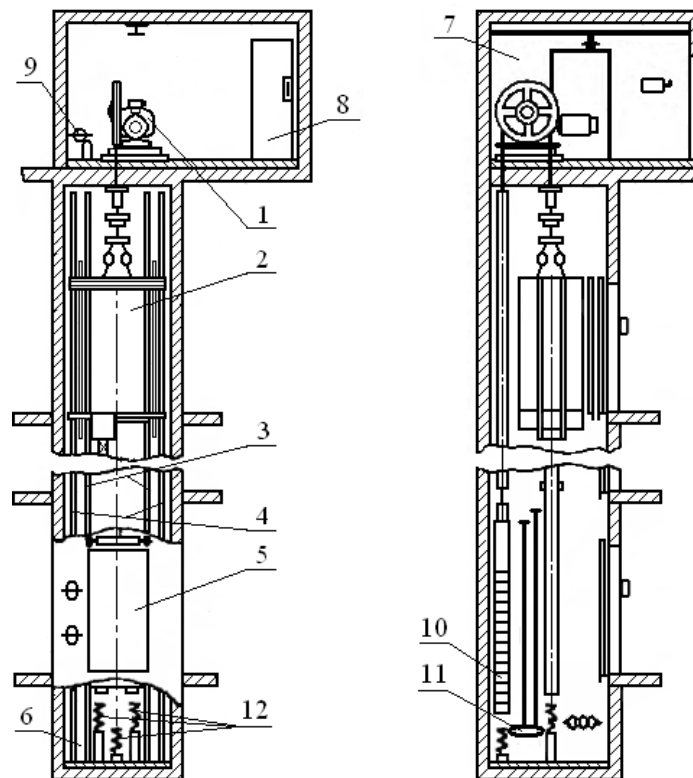


Рисунок 2.1 - Общий вид пассажирского лифта

1 – лебедка; 2 – кабина; 3 – направляющие противовеса; 4 – направляющие кабины; 5 – двери шахты; 6 – приямок; 7 – машинное помещение; 8 – станция управления; 9 – ограничитель скорости; 10 – противовес; 11 – натяжное устройство каната ограничителя скорости; 12 – буферы кабины и противовеса.

В приянке (6), находящимся в нижней части шахты, расположено оборудование, включающее: натяжное устройство каната ограничителя

скорости (11), связанное посредством каната с ограничителем скорости, буферы кабины и противовеса (12), необходимые для ограничения их хода. К вспомогательному электрооборудованию относятся: станция управления (8), приборы и аппараты, находящиеся в машинном помещении, электропроводка, а также лампы освещения.

Следующим этапом проведено распределение элементов на всех уровнях, а также выявлена взаимосвязь между ними.

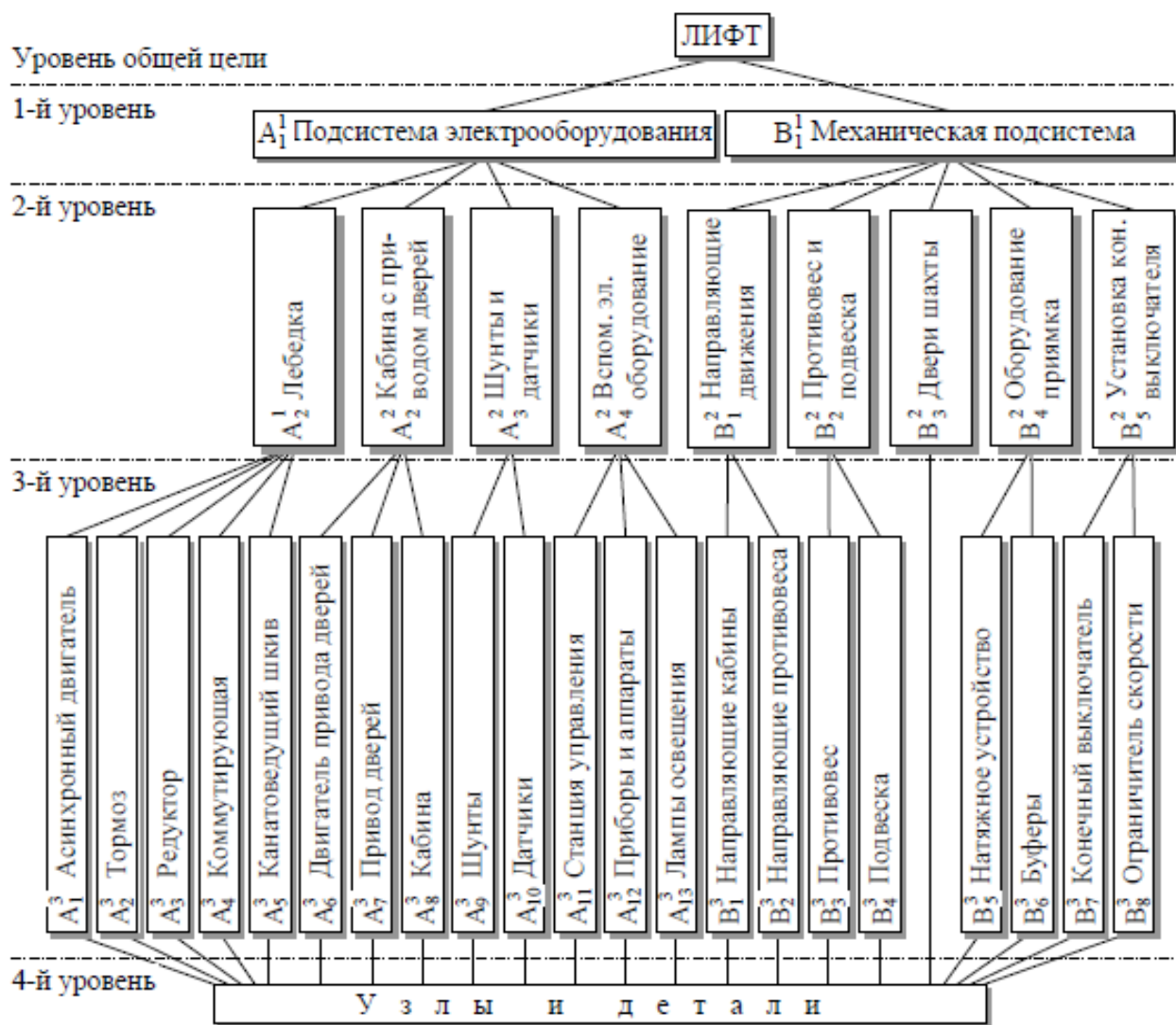


Рисунок 2.3 - Структурная модель пассажирского лифта

Приведенная на рисунке 2.3 структурная модель пассажирского лифта имеет вид дерева целей и представляет собой иерархическую структуру. Уровень

общей цели представляет собой обеспечение надежности пассажирского лифта в целом. На первом уровне необходимо оценить надежность механических элементов и электрооборудования. На следующих уровнях проведено деление на основные составные части и их элементы.

Для определения влияния надежности элементов лифта на его общую надежность был проведен анализ опроса группы экспертов Томского политехнического университета и ООО "Томская лифтовая компания". Эксперты присвоили ранги (места) элементам в зависимости от их важности. Количество рангов соответствует количеству сравниваемых между собой элементов. При этом учитывалось не только количество отказов элементов, но и длительность простоя лифта при выходе их из строя, сложность и стоимость восстановления, а также безопасность перевозки пассажиров. В таблице. 2.1, 2.2, 2.3 представлены матрицы результатов опроса экспертов на каждом уровне дерева цели относительно предыдущего уровня.

Таблица 2.1 - Матрица опроса экспертов (1 уровень)

| Компонент | Эксперт | | | | | | |
|-----------|---------|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| A_1^1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| B_1^1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 |

Таблица 2.2 - Матрица опроса экспертов (2 уровень)

| Компонент | Эксперт | | | | | | |
|-----------|---------|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| A_1^2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| A_2^2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| A_3^2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 2 | 4 |
| A_4^2 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 |
| B_1^2 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| B_2^2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 |
| B_3^2 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 1 | 4 |
| B_4^2 | 2 | 1 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| B_5^2 | 1 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 1 |

Таблица 2.3 - Матрица опроса экспертов (3 уровень)

| Компонент | Эксперт | | | | | | |
|------------|---------|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| A_1^3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| A_2^3 | 4 | 2 | 4 | 3 | 1 | 2 | 2 |
| A_3^3 | 2 | 4 | 5 | 2 | 4 | 4 | 3 |
| A_4^3 | 1 | 3 | 2 | 5 | 3 | 3 | 4 |
| A_5^3 | 5 | 5 | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| A_6^3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| A_7^3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| A_8^3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| A_9^3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| A_{10}^3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| A_{11}^3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| A_{12}^3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| A_{13}^3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 |
| B_1^3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| B_2^3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| B_3^3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| B_4^3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| B_5^3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| B_6^3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| B_7^3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| B_8^3 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |

Наиболее важной цели соответствует больший удельный вес, поэтому преобразованные ранги определяются по формуле (2.1) [108]:

$$R = R_{\max} - R_{\text{э}} \quad , \quad (2.1)$$

где R – преобразованный ранг; R_{\max} – максимальный ранг, который зависит от количества подцелей, подчиненных одной цели; $R_{\text{э}}$ – ранг, присвоенный экспертом.

При расчете КОВ необходимо обеспечить выполнение требований:

- сумма КОВ первого уровня должна составлять единицу;
- сумма КОВ подцелей должна составлять величину КОВ цели, в которую он включен.

Чтобы выполнить сформулированные условия необходимо умножить КОВ, полученные на каждом последующем уровне и в сумме составляющие единицу, на КОВ вышестоящего уровня.

Таблица 2.4 - Ранжированная матрица (1 уровень)

| Компонент | Эксперт | | | | | | | Сумма | КОВ |
|-----------|---------|---|---|---|---|---|---|-------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| A_1^1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 5 | 0,714 |
| B_1^1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0,286 |
| Итого | | | | | | | | 7 | 1 |

Таблица 2.5 - Ранжированная матрица (2 уровень)

| Компонент | Эксперт | | | | | | | Сумма | КОВ |
|-----------|---------|---|---|---|---|---|---|-------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| A_1^2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 21 | 0,349 |
| A_2^2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 13 | 0,216 |
| A_3^2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 6 | 0,099 |
| A_4^2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 | 0,050 |
| Итого | | | | | | | | 43 | 0,714 |
| B_1^2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0,004 |
| B_2^2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 21 | 0,085 |
| B_3^2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 1 | 15 | 0,060 |
| B_4^2 | 3 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 15 | 0,060 |
| B_5^2 | 4 | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 | 4 | 19 | 0,077 |
| Итого | | | | | | | | 71 | 0,286 |

Таблица 2.6 - Ранжированная матрица (3 уровень)

| Компонент | Эксперт | | | | | | | Сумма | КОВ |
|------------|---------|---|---|---|---|---|---|-------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| A_1^3 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 25 | 0,124 |
| A_2^3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 4 | 3 | 3 | 17 | 0,085 |
| A_3^3 | 3 | 1 | 0 | 3 | 1 | 1 | 2 | 11 | 0,055 |
| A_4^3 | 4 | 2 | 3 | 0 | 2 | 2 | 1 | 14 | 0,070 |
| A_5^3 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0,015 |
| Итого | | | | | | | | 70 | 0,349 |
| A_6^3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 13 | 0,134 |
| A_7^3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 7 | 0,072 |
| A_8^3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0,010 |
| Итого | | | | | | | | 21 | 0,216 |
| A_9^3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0,042 |
| A_{10}^3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 4 | 0,057 |
| Итого | | | | | | | | 7 | 0,099 |
| A_{11}^3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 12 | 0,028 |
| A_{12}^3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 7 | 0,017 |
| A_{13}^3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0,005 |
| Итого | | | | | | | | 21 | 0,050 |
| B_1^3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 4 | 0,002 |
| B_2^3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0,002 |
| Итого | | | | | | | | 7 | 0,004 |
| B_3^3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0,025 |
| B_4^3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 5 | 0,060 |
| Итого | | | | | | | | 7 | 0,085 |
| B_5^3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 5 | 0,043 |
| B_6^3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0,017 |
| Итого | | | | | | | | 7 | 0,060 |
| B_7^3 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 0,055 |
| B_8^3 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0,022 |
| Итого | | | | | | | | 7 | 0,077 |

Из расчетов, полученных на первом уровне, видно, что наиболее весомой эксперты сочли систему электрооборудования (71,4 %). Именно ее надежности следует уделить наибольшее внимание. На втором уровне важную роль играют лебедка основного привода (34,9 %) и кабина с приводом дверей (21,6 %).

Результаты расчета третьего уровня приведены на рис. 2.4.

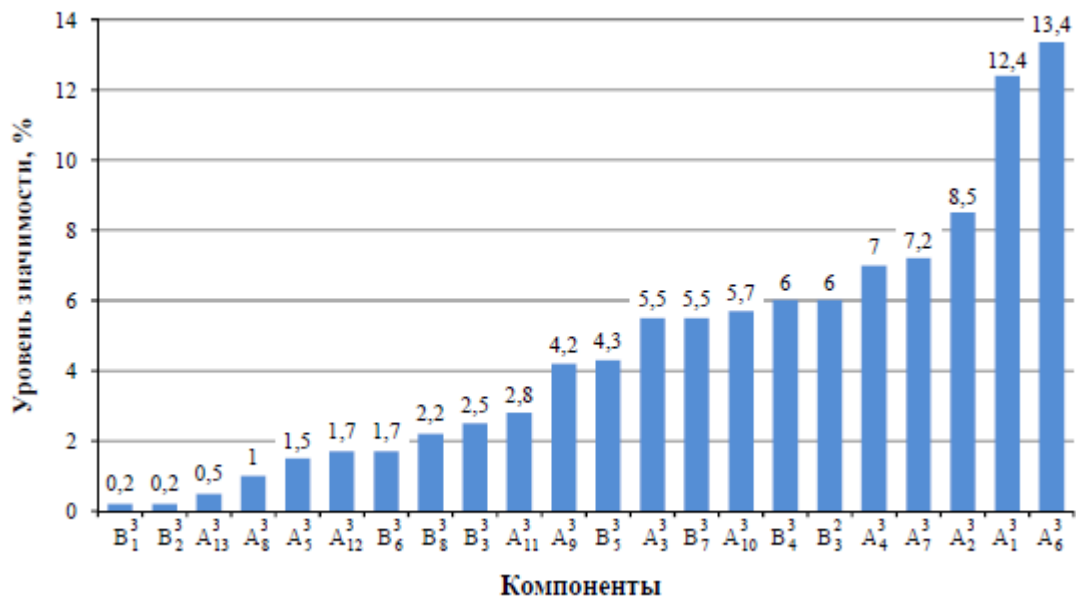


Рисунок 2.4 - Гистограмма значимости элементов пассажирского лифта

На основе анализа КОВ видно, что наибольший вклад в надежность и безопасность работы лифта вносят двигатель привода дверей (13,4 %), как элемент подверженный значительному воздействию со стороны пассажиров и имеющий большое количество отказов, а также двигатель лебедки (12,4 %), как элемент, требующий длительного времени для его восстановления и дорогостоящего ремонта. На втором месте находится тормоз двигателя лебедки (8,5 %), привод дверей (7,2 %) и коммутирующая аппаратура (7,0%). Их надежность не менее важна для обеспечения работоспособности лифта, но устранение их отказов занимает меньшее количество времени. Следующими в списке важности оказались противовес (6 %) и подвеска (6 %), обеспечивающие безопасность движения кабины. Наиболее надежными являются направляющие движения (0,2 %). Наименьших усилий направленных

на повышение надежности требуется, по мнению экспертов, для ламп освещения (0,5 %).

Таким образом, применение системного анализа относительно исследования надежности пассажирского лифта, позволило упорядочить его элементы и определить порядок расчета их надежности, что представлено в виде дерева целей, имеющего иерархическую структуру. При помощи метода экспертных оценок определены КОВ каждого элемента дерева целей, то есть их вклад в достижение общей цели, которой является обеспечение надежности, работоспособности и безопасности функционирования пассажирского лифта.

Полученные результаты показали, необходимость дальнейшего исследования эксплуатационной надежности АДЛ.

2.3 Анализ отказов пассажирских лифтов по данным эксплуатации

Опрос группы экспертов показал, что одним из наиболее ответственных элементов является асинхронный двигатель привода лебедки (12,4 %). Поэтому исследование надежности АДЛ с целью ее повышения является актуальной задачей. Для подготовки массива данных, необходимого при расчете количественных показателей надежности, был автором выполнен анализ отказов 446 идентичных по устройству и назначению тихоходных пассажирских лифтов грузоподъемностью до 400 кг., установленных в период с 1986 г. по 2011 г. в жилых домах этажностью от 8 до 17 в г. Томске и эксплуатирующихся в условиях, указанных в табл. 2.7 [20, 111].

Таблица 2.7- Условия эксплуатации пассажирских лифтов

| Параметр | Значение |
|--|--------------------------------------|
| Высота над уровнем моря | Не более 2000 м |
| Число включений в час | Не более 120-150 |
| Предельные значения температуры воздуха в машинном помещении | От +40 до +5 °С |
| Предельные значения температуры воздуха в шахте | От +40 до +1 °С |
| Верхнее значение относительной влажности | Не более 80 % при температуре +25 °С |

| | |
|---|-------------------|
| Относительная продолжительность включения | Не более 50-60 %. |
|---|-------------------|

Исследуемые лифты оборудованы редукторными лебедками, в состав которых входят двухскоростные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Обмотка статора АД имеет датчики температурной защиты. Эксплуатационные наблюдения, зафиксированные в журналах диспетчерского пункта ООО "Томской лифтовой компании" в г. Томске получены в результате осмотра лифта электромехаником, а также с помощью систем управления, которые контролируют состояние лифтов. При возникновении неисправности система автоматически определяет характер отказа, высвечивая на индикаторе код ошибки и записывая его в память. Анализ данных АО ООО "Томской лифтовой компании" показал распределение отказов лифта на первом уровне дерева целей.



Рисунок 2.5 - Распределение отказов лифта на первом уровне дерева целей

На первом уровне 67,1 % всех отказов составляют отказы подсистемы электрооборудования и 32,9 % отказов относятся к механической подсистеме, что подтверждает результаты, полученные методом экспертного опроса.

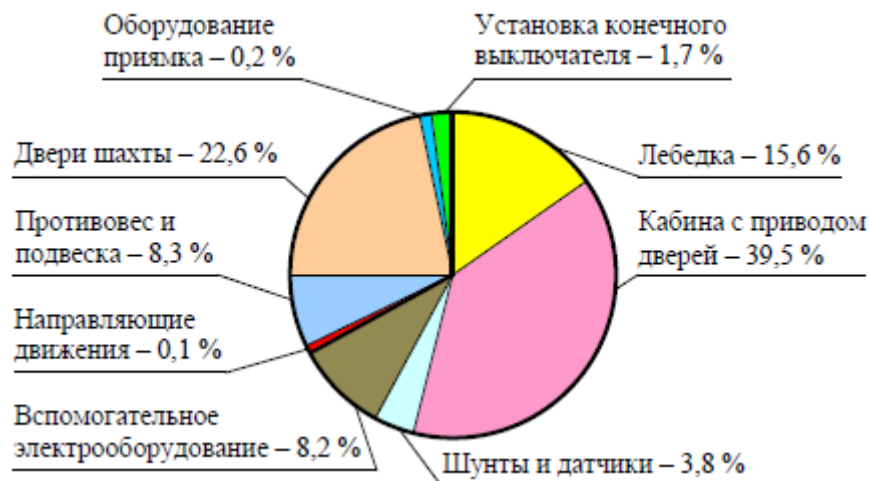


Рисунок 2.6 - Распределение отказов лифта на втором уровне дерева целей

На втором уровне видно, что наибольшее количество отказов имеют три узла: кабина лифта с приводом дверей (39,5 %), двери шахты (22,6 %) и лебедка (15,6 %). КОВ показывают другое соотношение влияния элементов на надежность лифта. Но в тоже время полученные результаты не противоречат друг другу. При опросе экспертов ставилась задача оценки важности элементов с учетом большого числа факторов, в которые входят не только количество отказов, но и стоимость восстановительных работ, и длительность ремонтов.



Рисунок 2.7 - Распределение отказов лебедки на третьем уровне дерева целей

На третьем уровне дерева целей был проведен анализ отказов лебедок, так как в ее состав входят АДЛ, прогнозированию эксплуатационной надежности которых посвящена настоящая работа (рис. 2.7). О надежности остальных элементов можно судить по КОВ, определенным в предыдущем параграфе.

Итак, наибольшее количество отказов приходится на тормоз (48 %) и коммутирующую аппаратуру (39 %), отказы асинхронного двигателя составляют 10 % от общего количества отказов лифта, наиболее надежными элементами являются редуктор (2 %) и канатоведущий шкив (1 %). В табл. 2.8 приведены причины отказов АДЛ.

Массив исходных данных по эксплуатационной надежности асинхронных двигателей для лифтов

В результате анализа методов моделирования эксплуатационной надежности (§ 1.4, § 2.1) было определено, что оценку эксплуатационной надежности АДЛ наиболее целесообразно проводить вероятностно-статистическим методом. В качестве данных будем использовать значения наработок АДЛ. Согласно ГОСТ наработка – это продолжительность или объем работы изделия [30]. Она может быть выражена в числе пусков, продолжительности нагрузки, продолжительности включений, времени непрерывной работы. В настоящее время сбор эксплуатационной информации о лифтовых асинхронных двигателях не проводится. В диспетчерских журналах ежедневно фиксируется время всех остановок лифта, их причины и проведенные работы, вне зависимости от вышедшего из строя элемента. Единой системы сбора не существует, поэтому записанная информация в большей степени зависит от добросовестности и квалификации обслуживающего персонала. С целью дальнейшего исследования автором взята эксплуатационная информация 446 трехфазных малошумных АДЛ с короткозамкнутым ротором, установленных в тихоходных пассажирских лифтах до 400 кг в жилых домах этажностью от 8 до 17, в период с 2005 г. по 2011 г в г. Томске.

Исследуемые АДЛ эксплуатируются от сети переменного тока частотой 50 Гц и напряжением питания 380 В. Вид их климатического исполнения – УЗ, класс нагревостойкости изоляции – F.

Как было определено ранее, наибольшее количество отказов приходится на статор (41,8 %), причем срабатывание датчиков температурной защиты также принимается за отказ (38,4%), так как происходит остановка лифта. Надежность статора определяет надежность АДЛ и требует более детального исследования. В табл. 2.10 представлены статистические данные о наработке статоров двигателей 4АМН160SA4/16НЛБУЗ (3,55/0,88 кВт), 5АН160S4/16НЛБУЗ (3,55/0,88 кВт), 4АМН160S6/18НЛБУЗ (3,0/1,0 кВт), 5АН160S6/18НЛБУЗ (3,0/1,0 кВт).

Таблица 2.10 – Нарботки статоров АДЛ, установленных в 2005-2011 году

| № АДЛ | Индикатор наличия отказа | Нарботка, ч | № АДЛ | Индикатор наличия отказа | Нарботка, ч |
|-------|--------------------------|-------------|-------|--------------------------|-------------|
| 1. | 0 | 26232 | 30 | 0 | 21312 |
| 2. | 0 | 4094 | 31 | 0 | 19536 |
| 3. | 1 | 26202 | 32 | 1 | 5303 |
| 4. | 1 | 15973 | 33 | 1 | 5604 |
| 5. | 0 | 26232 | 34 | 0 | 18888 |
| 6. | 1 | 22424 | 35 | 0 | 18384 |
| 7. | 1 | 12299 | 36 | 1 | 374 |
| 8. | 0 | 26232 | 37 | 0 | 17568 |
| 9. | 1 | 4725 | 38 | 0 | 18648 |
| 10. | 0 | 26232 | 59 | 0 | 17568 |
| 11. | 1 | 3131 | 40 | 0 | 16608 |
| 12. | 0 | 26232 | 41 | 0 | 16584 |
| 13. | 1 | 12212 | 42 | 0 | 16392 |
| 14. | 0 | 17794 | 43 | 1 | 5531 |
| 15. | 0 | 26232 | 44 | 0 | 16392 |
| 16. | 1 | 8233 | 45 | 0 | 16248 |
| 17. | 0 | 26232 | 46 | 1 | 2968 |
| 18. | 1 | 16018 | 47 | 1 | 2962 |
| 19. | 0 | 26232 | 48 | 0 | 16248 |
| 20. | 1 | 18647 | 49 | 1 | 2222 |
| 21. | 0 | 26232 | 50 | 0 | 16104 |
| 22. | 1 | 858 | 51 | 0 | 15768 |
| 23. | 1 | 836 | 52 | 0 | 15600 |
| 24. | 0 | 26232 | 53 | 0 | 15360 |
| 25. | 1 | 5897 | 54 | 0 | 14640 |
| 26. | 0 | 26232 | 55 | 0 | 13920 |
| 27. | 1 | 4424 | 56 | 0 | 13008 |
| 28. | 0 | 26232 | 57 | 0 | 12984 |

| | | | | | |
|-----|---|-------|----|---|-------|
| 29. | 1 | 13366 | 58 | 0 | 12912 |
|-----|---|-------|----|---|-------|

В выше приведенной таблице графа "Индикатор наличия отказа" дает возможность отличить наработку до отказа (1) от наработки до цензурирования (0). За нулевую точку автором принято начало наблюдений, предшествующее время эксплуатации представлено периодом неопределенности.

Полученный массив данных представляет собой выборку большого объема и требует обработки по интервалам, то есть построения гистограмм. В качестве оценки эксплуатационной надежности принята интенсивность отказов $\lambda(t)$ как наиболее наглядный показатель, позволяющий в дальнейшем определить другие. Интенсивность отказов для конца каждого из интервалов определяется по формуле [15, 119]:

$$\lambda(t) = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t + \Delta t) \cdot \Delta t}, \quad (2.2)$$

где $N(t)$ – количество АДЛ, работающих в момент времени t , $N(t + \Delta t)$ – количество АДЛ, работающих в момент времени $(t + \Delta t)$.

Преобразовывая формулу (2.2) в части учета цензурированных наработок, получена формула, позволяющая осуществить построение гистограмм по данным, представленным в табл. 2.10

$$\lambda_{emp}(t_k) = \frac{a_k}{(N - \sum_{k=1}^k (a_k + k_{0k})) \cdot \Delta t}$$

Число интервалов разбиения определяется по формуле [110]:

$$k = 5 \cdot \log a, \quad (2.4)$$

где a – количество отказов АДЛ за весь период наблюдения.

Ширина интервала:

$$\Delta t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{k}$$

где t_{\max} – наибольшее значение наработки до отказа; t_{\min} – наименьшее значение наработки до отказа.

На рисунке 2.8 - представлены гистограммы распределения отказов по сформированным ЦВ статоров двигателе АДЛ.

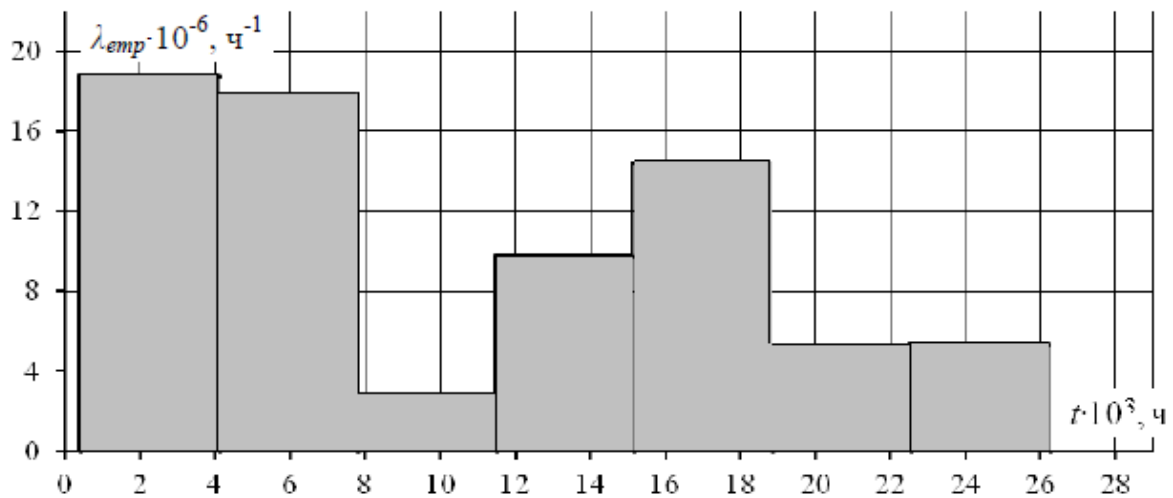


Рисунок 2.8 - Гистограммы интенсивности отказов статоров АДЛ, установленных в 2005–2011 гг.

Итак, при изучении информации, зафиксированной в журналах диспетчерского пункта компании обслуживающей лифты, получены следующие результаты:

1. Сформирована выборка состоящая из 58 двухскоростных АДЛ с короткозамкнутым ротором высотой оси вращения 160 мм, мощностью 3,55/0,88 кВт при числе пар полюсов 4/16 и 3,0/1,0 кВт при числе пар полюсов 6/18. Исследуемые АДЛ установлены в пассажирских лифтах до 400 кг в жилых домах этажностью от 8 до 17 в период с 2005 г. по 2011 г. В зависимости от длительности эксплуатации выборка разбита на пять групп, изучение надежности которых проводится независимо друг от друга, так как их техническое состояние и эксплуатационная надежность различны.
2. Сформирован массив исходных данных, состоящий из наработок до отказа и наработок до цензурирования статоров АДЛ. Наибольшее количество отказов

АДЛ приходится на статор, поэтому для моделирования эксплуатационной надежности вероятностно-статистическим методом выбран этот узел. Полученные данные являются многократно цензурированными интервалом из-за отсутствия информации до начала наблюдений, различных моментов ввода лифтов в эксплуатацию, разделения отказов по видам и прекращения наблюдений до того как все статоры выйдут из строя.

3. Построена гистограмма распределения интенсивности отказов, учитывающие наработки до цензурирования. Функция интенсивности отказов выбрана по причине ее наглядности и информативности.

2.4 Математическая модель оценки эксплуатационной надежности асинхронных двигателей для лифтов по цензурированным данным.

Для оценки технического состояния АДЛ и прогнозирования их эксплуатационной надежности необходима математической модели (ММ), которая позволит количественно оценить показатели надежности в реальных условиях эксплуатации с помощью математического аппарата. Согласно ГОСТ показатели разделяются на единичные (безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость) и комплексные (коэффициенты готовности и технического использования) [1, 30, 120]. Для оценки эксплуатационной надежности АДЛ автором выбраны следующие показатели: интенсивность отказов $\lambda(t)$, вероятность безотказной работы $P(t)$ и средняя наработка до отказа T_{cp} . При необходимости дополнительно определяется плотность распределения наработок $f(t)$ и коэффициент вариации k_{var} . Вероятность безотказной работы, является одной из основных характеристик, по которой можно определить другие показатели. Статистически ВБР определяется по формуле:

$$P(t) = \frac{N(t)}{N}, \quad (2.6)$$

где $N(t)$ – количество АДЛ, работающих в момент времени t ; N – количество АДЛ, работающих в начале наблюдений.

Функция интенсивности отказов представляется наиболее наглядной и определяется по формуле 2.2.

Средняя наработка до отказа определяется при помощи ВБР:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt.$$

Произведение функций ВБР и интенсивности отказов в результате дает функцию плотности распределения наработок:

$$f(t) = \lambda(t) \cdot P(t),$$

где $f(t)$ – плотность распределения наработок; $\lambda(t)$ – интенсивность отказов;

$P(t)$ – вероятность безотказной работы.

Оперируя перечисленными показателями, можно эффективно оценивать эксплуатационную надежность АДЛ.

Отказы АДЛ при эксплуатации являются случайными событиями и могут быть описаны во времени при помощи различных моделей надежности [1]. Правильный выбор модели определяет максимальную достоверность расчетов, кроме того без них значительно затрудняется анализ цензурированных выборок. При разработке ММ выбор остановлен на моделях надежности наиболее часто применяемых для электротехнических изделий: экспоненциальной, Вейбулла, нормальной и логарифмически-нормальной [121]. Перечисленные модели отражают все этапы эксплуатации АДЛ.

$$P(t) = \exp[-\lambda \cdot t], \quad (2.9)$$

$$f(t) = \lambda \cdot \exp[-\lambda \cdot t], \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} \dot{O}_{\text{нб}} &= \frac{1}{\lambda} \\ k_{\text{var}} &= 1 \end{aligned} \quad (2.11)$$

Показатели модели надежности Вейбулла определяются по следующим формулам

[1]:

$$P(t) = \exp[-\alpha \cdot t^\beta], \quad (2.13)$$

$$\lambda(t) = \beta \cdot \alpha \cdot t^{\beta-1}, \quad (2.14)$$

Показатели нормальной модели надежности определяются по следующим формулам [1]:

$$\begin{aligned} P(t) &= 1 - \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_0^\infty \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right] \cdot dt, \\ f(t) &= \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right], \\ \lambda(t) &= \frac{f(t)}{P(t)}, \\ T_{cp} &= \mu \\ k_{var} &= \frac{\sigma}{\mu} \end{aligned} \quad (2.22-2.226)$$

Предварительно оценку параметров моделей надежности проводим методом наименьших квадратов [123], являющимся аналогом графоаналитического метода [1, 29]. Суть метода состоит в проведении прямой линии среди опытных точек, построенных в координатах, которые соответствующим образом связаны с исследуемой функцией распределения:

$$y = A + B \cdot x, \quad (2.27)$$

где A и B – параметры модели надежности;

$x = f(t)$, $y = f(P)$ – функции анаморфозы, представленные в таблице 2.14

Таблица 2.14 - Функции анаморфозы

| Координаты | Модель надежности | | | |
|------------|----------------------|--------------------|------------|-------------------------------|
| | Экспоненциальная | Вейбулла | Нормальная | Логарифмически- нормальная |
| y_i | t_i | $\ln t_i$ | gnorm | gnorm |
| x_i | $\Lambda(t_i)$ | $\ln \Lambda(t_i)$ | t_i | $\ln t_i$ |

Примечание: gnorm – квантиль стандартного нормального распределения; t_i – наработка;
 $\Lambda(t_i)$ – накопленная интенсивность отказов

Параметр экспоненциальной модели находится по следующей формуле:

$$\lambda = \frac{\hat{a}}{\sum_{i=1}^N t_i} \quad (2.28)$$

где a – количество отказавших АДЛ; N – общее число исследуемых АДЛ.

Параметры модели Вейбула (α, β) определяются по формулам (2.29) и (2.30).

Параметры нормальной модели (μ, σ) определяются по формулам (2.30) и (2.31), при этом параметру σ соответствует β .

$$\alpha = \exp \left[\frac{1}{N - k_0} \cdot \left(\sum_{i=1}^N x_i - \beta \cdot \sum_{i=1}^N y_i \right) \right],$$

$$\beta = \frac{(N - k_0) \cdot \sum_{i=1}^N y_i \cdot x_i - \sum_{i=1}^N y_i \cdot \sum_{i=1}^N x_i}{(N - k_0) \cdot \sum_{i=1}^N y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N y_i \right)^2}, \quad (2.29-2.31)$$

$$\mu = \frac{1}{N - k_0} \cdot \left(\sum_{i=1}^N x_i - \sigma \cdot \sum_{i=1}^N y_i \right),$$

В связи с тем, что при расчете параметров моделей надежности АДЛ кроме полных наработок учтены наработки до цензурирования, полученные результаты безотказной работы. Поэтому необходимо уточнить путем определения эмпирической вероятности.

$$P_{emp}(t_k) = \prod_{k=1}^k \left(\frac{1}{1 + \lambda_{emp}(t_k)} \right),$$

$$cor = \frac{\sum_{k=1}^N (P_{emp}(t_k) - \overline{P_{emp}}) \cdot (P(t_k) - \overline{P})}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (P_{emp}(t_k) - \overline{P_{emp}})^2 \cdot \sum_{k=1}^N (P(t_k) - \overline{P})^2}} \quad (2.32-2.33)$$

где $\overline{P_{emp}} - \overline{P}$ средне арифметические значения эмпирической модели ВБР и теоретической ВБР полученной по одной из модели надежности. Уточнение параметров моделей надежности проводится методом нелинейного подбора параметров заданной функции по условию стремления к нулю разницы опытного и теоретического распределений.

Для более объективного выбора модели надежности, рассчитывается линейный коэффициент корреляции между эмпирическим и теоретическим распределением. Чем ближе полученное значение коэффициента корреляции к единице, тем выше степень согласия этих распределений.

Подводя итог, отметим, что:

1. Изучена математическая модель для оценки эксплуатационной надежности АДЛ, представляющая собой математические формулы и связи между ними. Отличительной особенностью ММ является то, что она позволяет определять количественные показатели моделей надежности (экспоненциальной, Вейбулла, нормальной, логарифмически-нормальной) с учетом не только полных наработок, но и цензурированных метода.
2. Проверка адекватности моделей надежности в предложенной ММ проводится с помощью линейного коэффициента корреляции, представляющего собой степень согласия эмпирического и теоретического распределений. В качестве показателей выбраны вероятность безотказной работы, являющаяся одной из основных характеристик, по которой определяются другие показатели; интенсивность отказов, представляющаяся наиболее наглядной и средняя наработка до отказа. Набор перечисленных показателей является достаточным для оперативного оценивания эксплуатационной надежности АДЛ.

2.5 Моделирование эксплуатационной надежности статоров асинхронных двигателей для лифтов

Для расчета количественных показателей надежности статоров АДЛ была использована программа для ЭВМ "Оценка эксплуатационной надежности технических устройств по цензурированным данным", позволяющая исследовать специфические выборки. При этом массив исходных данных для каждой из групп АДЛ (табл. 2.9) рассматривается в программе независимо друг от друга. Указанная программа позволяет получить параметры следующих моделей надежности: нормальной, экспоненциальной, Вейбулла и логарифмически-нормальной надежности. В качестве результата на рисунке 2.10 приведены

гистограммы эмпирических распределений и теоретические функции интенсивности отказов статоров АДЛ для нормальной модели надежности.

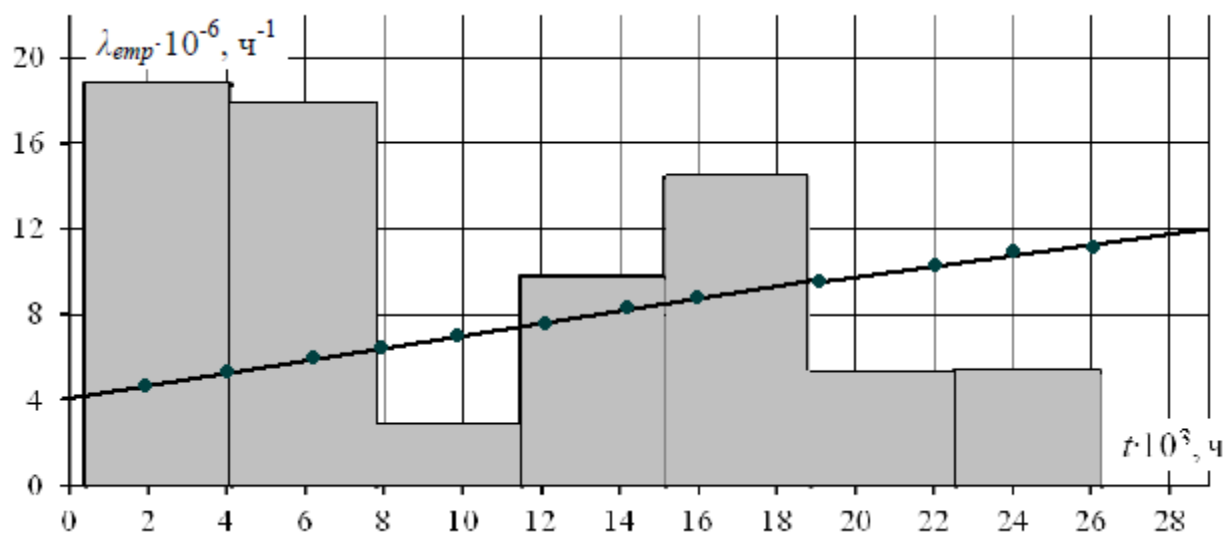


Рисунок 2.10 – Интенсивность отказов АДЛ, установленных в 2005-2011г. При нормальной модели надежности.

Далее с помощью программы был рассчитан коэффициент корреляции, средняя наработка до отказа и параметры выбранных моделей надежности статоров АДЛ.

Таблица 2.15 - Коэффициент корреляции

| № группы | Период установки, гг. | Коэффициент корреляции | | | |
|----------|-----------------------|------------------------|------------------|---------------------------|----------|
| | | Модель надежности | | | |
| | | нормальная | экспоненциальная | Логарифмически нормальная | Вейбулла |
| 1 | 2005–2011 | 0,989 | 0,981 | 0,984 | 0,987 |

Для нашей группы двигателей коэффициент максимален у нормальной модели надежности. Поэтому далее расчет эксплуатационной надежности будет вестись по этой модели.

Таблица 2.15 - Средняя наработка до отказа и параметры выбранных моделей надежности статоров АДЛ

| Период установки двигателей | Нормальная модель надежности | | | |
|-----------------------------|--|---|---|------------------------------------|
| | μ , ч (среднеквадратическое ожидание) | σ , ч (среднеквадратическое отклонение) | $T_{ср}$, ч (средняя наработка до отказа) | $Corr$, коэффициент корреляции |
| 2005-2011 | 219432 | 108347 | 219432 | 0,989 |

В результате моделирования:

1. Построены гистограмма эмпирического распределения и теоретическая функция интенсивности отказов статоров групп АДЛ для нормальной модели надежности, рассчитаны ее параметры.

2. Используя коэффициент корреляции, определяющий степень согласия между эмпирическим и теоретическим распределением наработок выбрана конкретная модель надежности.

Выводы

1. Для проведения исследования была взята и проанализирована эксплуатационная информация на протяжении с 2005 по 2011 года установленных АДЛ.

2. С помощью системного анализа упорядочены элементы пассажирского лифта и определен порядок расчета его надежности, что представлено в виде дерева целей, имеющего иерархическую структуру. Методом экспертных оценок определены КОВ каждого элемента дерева целей, то есть их вклад в достижение общей цели, которой является обеспечение надежности, работоспособности и безопасности функционирования пассажирского лифта.

3. Получены данные по видам отказов АДЛ, которые позволяют судить

о наиболее аварийных из них: статор – 41,8 %, подшипниковые устройства – 8,1 %. Кроме того часто срабатывали датчики температурной защиты (38,4 %), обеспечивая статорам дальнейшую работу.

4. Проанализирована математическая модель для оценки эксплуатационной надежности АДЛ, представляющая собой математические формулы и связи между ними. Отличительной особенностью ММ является то, что она позволяет определять количественные показатели нормальной модели надежности с учетом не только полных наработок, но и цензурированных методом наименьших квадратов с последующим уточнением. Проверка адекватности моделей надежности в предложенной ММ проводится с помощью линейного коэффициента корреляции, представляющего собой степень согласия эмпирического и теоретического распределений.

5. В качестве показателей выбраны вероятность безотказной работы, являющаяся одной из основных характеристик, по которой определяются другие показатели; интенсивность отказов, представляющаяся наиболее наглядной и средняя наработка до отказа.

3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЛИФТОВ

3.1 Математическая модель прогнозирования эксплуатационной надежности статоров асинхронных двигателей для лифтов

Рассматривая работоспособность ЭМ от начала их работы до полного списания, можно выделить три периода их эксплуатации: период приработки, когда интенсивность отказов постепенно снижается, при котором происходит отбраковка изделий, имеющих какие-либо конструктивные или технологические дефекты, период нормальной эксплуатации, имеющий только случайные отказы и период старения, когда количество отказов быстро увеличивается [1, 33]. Наиболее длительным является период нормальной

эксплуатации. Функция изменения интенсивности отказов во времени на протяжении всего периода эксплуатации изделия, носит название "кривой жизни". Наибольшее влияние на надежность АДЛ оказывает статор (80,2 %), состоящий из обмоток большой и малой скорости и сердечника. Отличительной особенностью статора от остальных узлов и деталей является невозможность оперативной его замены. В результате выхода статора из строя проводится капитальный ремонт АДЛ, приводящий к длительному простоею лифтов. Из чего следует, что знание "кривой жизни" статоров дает возможность разработки эффективной системы технического обслуживания и ремонта, зависящей от состояния АДЛ, повышая этим их надежность. Для решения поставленной задачи автором разработана математическая модель прогнозирования эксплуатационной надежности статоров АДЛ, алгоритм которой представлен на рисунке 3.2. Данная модель основана на математической модели оценки эксплуатационной надежности АДЛ по цензурированным выборкам, представляющей собой математические формулы и связи между ними.

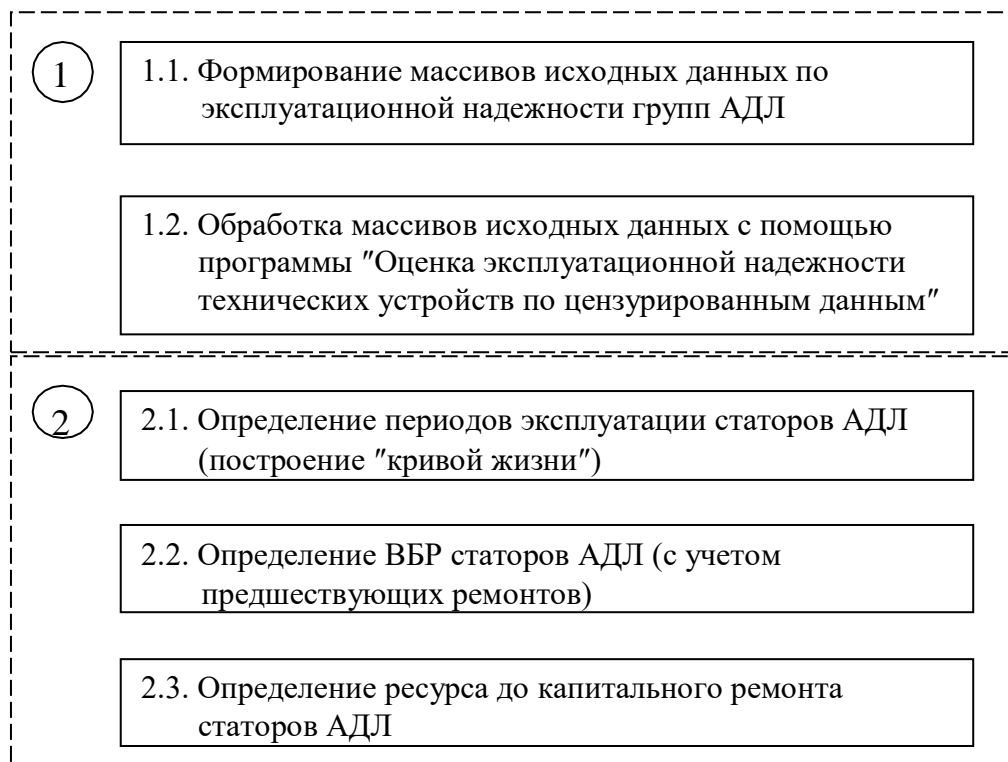


Рисунок 3.2 - Алгоритм математической модели прогнозирования эксплуатационной надежности статоров АДЛ

Рассчитаем функцию интенсивности отказов по нормальной модели надежности по формуле

$$\lambda_{\text{н\o}}(t) = \frac{\sqrt{\frac{2}{\pi} \cdot \exp\left[-\frac{(t-219432)^2}{2 \cdot 108347^2}\right]}}{108347 \cdot \Phi\left(\frac{t-219432}{108347 \cdot \sqrt{2}}\right)}$$

$$\Phi(x) = \frac{2}{\pi} \int_0^x \exp(-x^2) d(x)$$

На рисунке 3.3 предоставлена функции интенсивности отказов

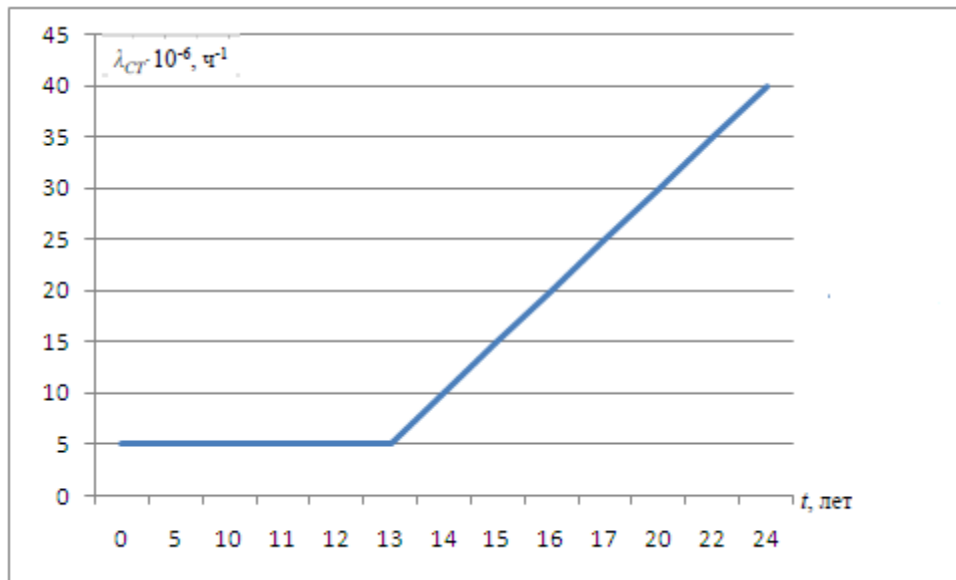


Рисунок 3.3 - Функции интенсивности отказов

Период нормальной эксплуатации с 3 до 13 имеет место наиболее низкий уровень интенсивности отказов приблизительно постоянной величины на уровне $4,89 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$. Связи тем что двигатели относительно новые.

После 21 года эксплуатации двигателей наступает период износа статоров, имеющий отказы возрастающей интенсивности. В течение пяти лет интенсивность отказов увеличивается почти в семь раз и достигает $36 \cdot 10^{-6}$. Отказы статоров связаны с необратимыми процессами, протекающими в

изоляции и связывающих пропиточных составов их обмоток. В результате происходит частичное разрушение изоляции, приводящее к коротким замыканиям.

Функция интенсивности отказов наглядно представляет, какие физические процессы протекают в изоляции статоров АДЛ. В основном старение изоляции происходит только после 21 года эксплуатации, но отказы двигателей происходят гораздо раньше.

Определим вероятность безотказной работы и средняя наработка до отказов статоров АДЛ.

$$F_{\text{н}}(t) = 1 - \frac{1}{108347 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_0^{\infty} \exp \left[-\frac{(t - 219432)^2}{2 \cdot 108347^2} \right] \cdot dt$$

$T_{\text{ср}}$, ч - (средняя наработка до отказа) = 219432ч

С помощью программы Matchcad была построена зависимость ВБР от времени эксплуатации. Рисунок 3.4

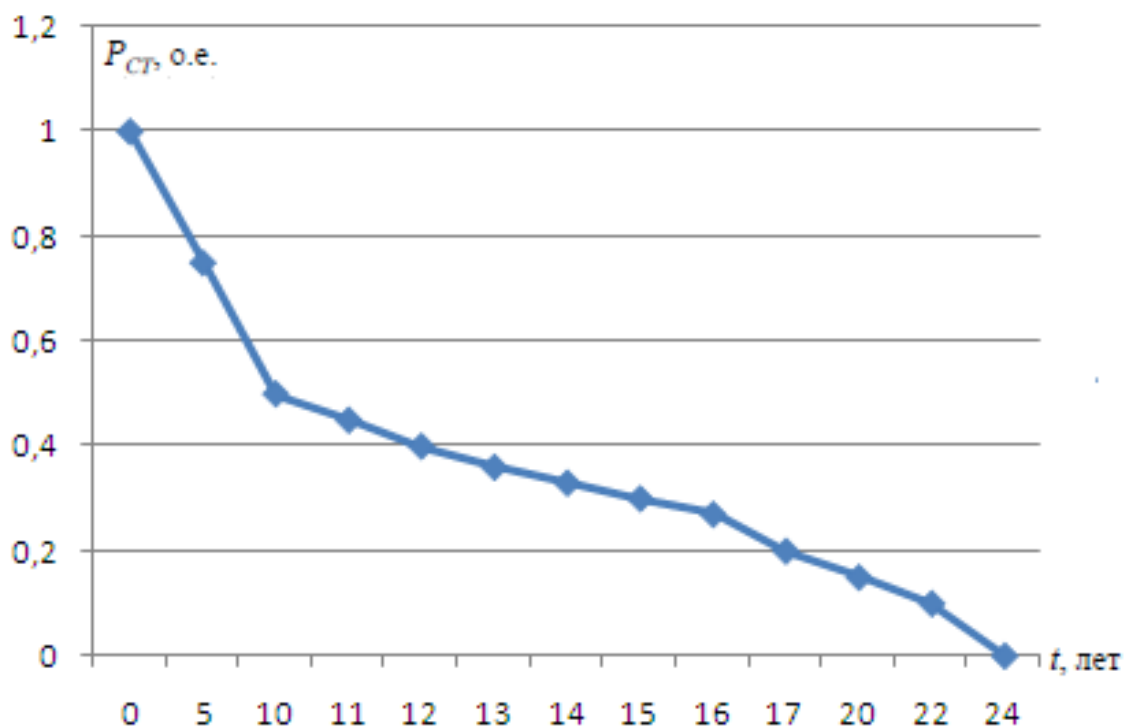


Рисунок 3.4 – ВБР статоров АДЛ

Как видно из рисунка 3.6 при достижении временем эксплуатации величины $T_p=24$ лет вероятность безотказной работы равна нулю, что не допустимо. Следующим этапом является исследование долговечности, которая представляет собой свойство двигателя сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при определенной системе ТОиР [1]. Долговечность объектов характеризуется средним ресурсом до капитального ремонта и для статоров в общем случае определяется по формуле:

$$T_{PK} = \sum_{i=1}^n P_{CT}(t_i) \cdot \Delta t \quad (3,4)$$

где $P_{CT}(t_i)$ – ВБР статора в течение наработки t_i ; n – номер интервала времени Δt , после которого значение ВБР становится меньше 0,2

$$T_{\delta\hat{e}} = \left(\sum_{i=1}^5 \exp\left[-0,00024 \cdot t_i^{0,69729}\right] \right) \cdot \Delta t + \left(\sum_{i=6}^{10} \exp\left[-4,53 \cdot t_i\right] \right) \cdot \Delta t \\ + \left(\sum_{i=11}^{15} \exp\left[-5,09 \cdot t_i\right] \right) \cdot \Delta t + \left(\sum_{i=16}^{17} \exp\left[-4,48 \cdot t_i\right] \right) \cdot \Delta t = 77341 \div$$

Средний ресурс до капитального ремонта статоров лифтовых асинхронных двигателей при отсутствии системы ТОиР составил 77341 ч., то есть 8,4 лет. Хотя их средний технический ресурс, определенный по данным эксплуатации составляет 24 лет.

Выводы.

1. Проанализирована математическая модель прогнозирования эксплуатационной надежности статоров АДЛ, основанная на математической модели оценки эксплуатационной надежности статоров АДЛ по цензурированным выборкам, представляющей собой математические формулы и связи между ними. Полученная модель позволяет определить ВБР двигателя на протяжении его эксплуатации и определить ресурс до капитального ремонта АДЛ.

2. Построена функция вероятности безотказной работы статоров АДЛ на всех периодах их эксплуатации и определены средние наработки до отказа . Средняя наработка до отказа в период износа статоров АДЛ является их техническим ресурсом – 24,7 лет. Также рассчитан средний ресурс до капитального ремонта при отсутствии системы ТОиР, который составил 8,7 лет. Таким образом, имеется возможность увеличения срока службы АДЛ сверх установленного в его документации (15 лет) путем проведения технических мероприятий, поддерживающих работоспособное состояние их статоров.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ И РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Важнейшим фактором успешного функционирования любого промышленного предприятия, в рамках жесткой конкуренции с отечественными и иностранными производителями, является постоянное совершенствование технологии и продукции. Новые технологии и модернизация это необходимый фактор для успешного продвижения продукции. Современный рынок требует от отечественного производителя коренной реконструкции и модернизации устаревшего технологического оборудования. Совершенствование технологий производства с целью повышения качества продукции, экономии затраченных средств, внедрение новых идей и соответственно появление новых видов продукции с новыми качествами - все это в условиях свободной конкуренции на рынке требует от товаропроизводителя совершенствоваться и внедрять новое технологическое оборудование[14]. Данный раздел выпускной квалификационной работы посвящен выбору наиболее выгодного варианта электропривода для рассматриваемого объекта автоматизации. В данном проекте рассматривается частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Преимуществами такого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока являются:

более низкая стоимость;

минимальные затраты на обслуживание;

обеспечение требуемой степени защиты IP54. Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Это важно для рассматриваемого применения, так как оно связано с концентрацией пыли в помещениях где эксплуатируется электрическая машина АИР 160S6.

4.1 Выбор и обоснование структурной (принципиальной) схемы электропривода

Выбор структурной схемы сводится к сравнению нескольких возможных вариантов и выбору наиболее оптимальной.

I вариант: электропривод с двигателем постоянного тока;

II вариант: частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором

Таблица 8 – Варианты структурной схемы электропривода

| Основные параметры | Вариант | | (преимущества, недостатки) |
|--------------------------------------|-----------|-----------------------------------|------------------------------------|
| | I | II | |
| 1. Общее количество составных частей | 4 | 4 | |
| 2. Количество типов элементов | 4 | 4 | |
| 3. Количество оригинальных элементов | 2 | 2 | |
| 4. Стоимость покупных комплектующих | | Стоимость в 2 раза меньше | Простота конструкции |
| 5. Показатели надежности | | Надежность, простота обслуживания | Отсутствие щеточного аппарата |
| 6. Питание: | | | |
| а) вид | U=380 В | U=380 В | |
| б) мощность | P= 11 кВт | P= 11 кВт | |
| 7. Габариты | | Меньше в 2 раза | компактность |
| 8. Масса | | Легче в 2 раза | Экономия материала на изготовление |

Для проведения оценки выбраны следующие показатели:

1. уровень капитальных вложений;
2. уровень надежности;
3. уровень обслуживания;
4. завышение мощности электропривода;
5. уровень затрат на эксплуатацию;
6. коэффициент мощности;
7. генерирование помех;

Таблица 9 - Коэффициент весомости критериев показателей

| Номер критерия | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Коэффициент Весомости | 1.0 | 0.8 | 0.6 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.1 |

По каждому частотному критерию устанавливаем оценку степени обеспечения цели:

Уровень цели: низкий(1), средний(0,5), высокий (0)

Оценка обеспечения различных вариантами электроприводов выбранных качественных характеристик представлена в таблице 12.

Таблица 12 - Оценка обеспечения различных вариантами электроприводов

| Номер варианта | Групповой критерий | | | | | | | Общая оценка качества |
|----------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------------|
| | 1.0 | 0.8 | 0.6 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | |
| I | 0,5 | 0 | 0,5 | 0 | 0.5 | 0,5 | 0.5 | 1,15 |
| II | 1,0 | 0,5 | 1,0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 2,25 |

Из таблицы 12 видно, что выбранные качественные характеристики обеспечиваются в варианте II.

Анализ и оценка научно-технического уровня проекта (НТУ)

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности проекта необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$НТУ = \sum k_i \cdot П_i, (3.1)$$

где

k_i – весовой коэффициент i – го признака;

Таблица 11 - Весовые коэффициенты НТУ

| Признаки НТУ | Весовой коэффициент |
|------------------------|---------------------|
| Уровень новизны | 0.6 |
| Теоретический уровень | 0.4 |
| Возможность реализации | 0.2 |

Таблица 12 - Шкала оценки новизны

| Баллы | Уровень |
|-------|--------------------------|
| 1-4 | Низкий НТУ |
| 5-7 | Средний НТУ |
| 8-10 | Сравнительно высокий НТУ |
| 11-14 | Высокий НТУ |

Таблица 13 - Значимость теоретических уровней

| Характеристика значимости теоретических уровней | Баллы |
|--|-------|
| Установка законов, разработка новой теории | 10 |
| Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, Взаимозависимость между факторами | 8 |
| Разработка способа (алгоритм, вещество, устройство, программы) | 6 |
| Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, Объяснение версий, практические рекомендации) | 2 |
| Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов) | 0.5 |

Таблица 14 - Возможность реализации по времени и масштабам

| Время реализации | Баллы |
|--------------------------------|-------|
| В течение первых лет | 10 |
| От 5 до 10 лет | 4 |
| Свыше 10 лет | 2 |
| Масштабы реализации | Баллы |
| Одно или несколько предприятий | 2 |
| Отрасль | 4 |
| Народное хозяйство | 10 |

$$k_1 = 0.6, P_1 = 6, k_2 = 0.4, P_2 = 7,$$

$$k_3 = 0.2, P_3 = 10, k_4 = 0.2, P_4 = 4.$$

$$НТУ = 0.6 \cdot 6 + 0.4 \cdot 7 + 0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 4 = 9.2$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно- технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет хорошие показатели новизны, значимость теоретического уровня, и при этом используется в широком спектре отраслей за сравнительно небольшое время реализации.

4.2 Планирование проектных работ

Планирование проекта – это составление календарных планов выполнения комплексов работ, определение денежных средств, необходимых для их реализации, а так же трудовых и материальных ресурсов.

Основные задачи:

1. Взаимная увязка работ проекта;

2. Согласование выполнения отдельных этапов работ во времени, определение их длительности и обеспечение их выполнения в установленные сроки;
3. Определение общего объема работ и потребных для его выполнения денежных, материальных и трудовых ресурсов;
4. Распределение общего объема работ между исполнителями.

Графический метод планирования.

При графическом методе планирования на основе расчета трудоемкости и календарной продолжительности выполнения всех включенных в план работ с учетом их взаимосвязи и последовательности выполнения во временном масштабе (соответствующим производственному календарю планируемого года) строится графическая модель комплекса работ в виде линейной диаграммы, в которой положение и длина каждой линии характеризует дату начала (окончания) и продолжительность выполнения каждой работы. На основе линейного графика определяется общая продолжительность всего комплекса работ.

Определение трудоемкости и продолжительности работ осуществляется на основе отраслевых нормативов, типовых норм на разработку конструкторской документации, а для работ, обладающих большой неопределенностью на основе вероятностных (экспертных) методов, широко используемых в СПУ.

Таблица 15 - Типовое содержание проектных работ

| Содержание работ | Продолжительность работ, ожид/день | | | Исполнители |
|---|------------------------------------|------------|-----------------|-------------|
| | t_{\min} | t_{\max} | $t_{\text{ож}}$ | |
| 1. Разработка ТЗ на проектирование | 3 | 5 | 3 | РП, И. |
| 2. Разработка плана работ и технико-экономическое обоснование проекта | 4 | 5 | 5 | РП, И. |
| 3. Описание объекта автоматизации (модернизации) | 13 | 20 | 17 | РП, И. |
| 4. Кинематическая схема механизма | 5 | 10 | 8 | РП, И. |

| | | | | |
|---|----|----|----|--------|
| 5. Разработка структурной (принципиальной) схемы ЭП | 12 | 15 | 14 | РП, И. |
| 6. Расчет мощности и выбор Электродвигателя | 3 | 5 | 5 | РП, И. |
| 7. Выбор способа регулирования скорости | 7 | 10 | 9 | РП, И. |
| 8. Расчет предельных характеристик системы «преобразователь–электродвигатель» | 6 | 10 | 8 | РП, И. |
| 9. Разработка математической модели системы АУ ЭП | 24 | 30 | 30 | РП, И. |
| 10. Оптимизация САР электропривода | 20 | 25 | 23 | РП, И. |
| 11. Разработка программы имитационного моделирования | 10 | 15 | 12 | РП, И. |
| 12. Вопросы безопасности и Экологичности проекта | 6 | 10 | 10 | РП, И. |
| 13. Техничко-экономические расчеты | 8 | 13 | 10 | РП, И. |
| 14. Составление пояснительной записки | 35 | 45 | 40 | РП, И. |
| 15. Разработка графического Сопровождения проекта | 20 | 25 | 25 | РП, И. |

РП –руководитель проекта;

И – инженер.

График выполнения работ по дням составлен на год с учетом всех выходных, предпраздничных и праздничных дней. Общее количество рабочих дней = 250, которые требуются на выполнение данного проектирования.

Расчет сметы затрат на проектирование

Таблица 16 - Смета затрат на проектирование

| Статьи расходов | Сумма | | Примечания |
|---|-------|---|---------------------------------------|
| | руб | % | |
| 1. Материалы, покупные п/фи комплектующие изделия | 41000 | | |
| 2. Специальное оборудование | 38000 | | Стенды, приборы, установки, программы |

| | | | |
|---|--------|------|---|
| 3. Основная заработная плата научно- производственного персонала | 160000 | | Трудоемкость нормо-д, Стоимость 1-го нормо-д. |
| 4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала | 16000 | 10 | 10÷15% от ст.3 |
| 5. Отчисления во внебюджетные фонды | 47529 | 27,1 | 27,1%(ст.3+ст.4) |
| 6. Расходы на научные и производственные командировки | 14080 | 8 | 5÷10% от(ст.3+ст.4) |
| 7. Расходы и услуги сторонних организаций | 32000 | | |
| 8. Накладные расходы | 128000 | 80 | 60÷80% от ст.3 |
| 9. Плановая прибыль | 24607 | 7 | 6÷8% от (ст.3+4+5+8) |
| 10. Годовая сметная стоимость проекта | 501216 | | |

По результатам расчетов строим круговую гистограмму:

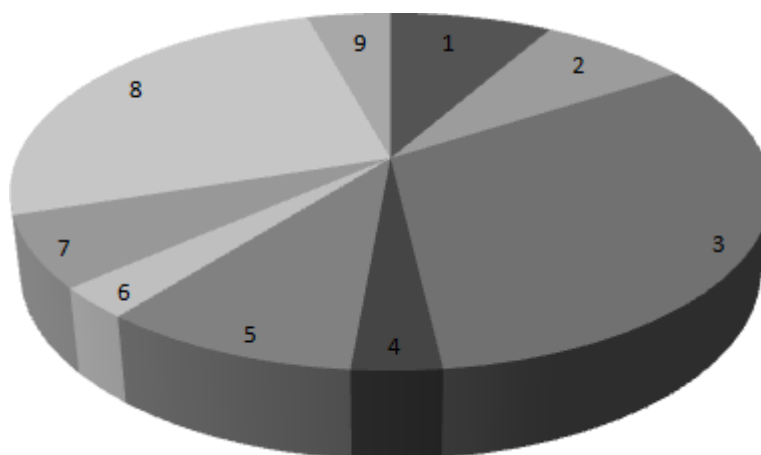


Рисунок 3.1 - Круговая гистограмма затрат на проектирование

Расчет капитальных вложений на реализацию проекта

Капитальные вложения (инвестиции в реальные активы предприятия) включают:

- Затраты на предпроектные работы;
- Затраты на приобретение, доставку, установку и наладку оборудования;
- Сопряженные затраты

- Затраты на пополнение оборотных средств.

Расчет капитальных вложений оформлен в виде таблицы 17:

Таблица 17 - Бюджет инвестиций

| | Кол-во | Цена, руб | Общая стоимость, руб |
|--|--------|-----------------|----------------------|
| I. Стоимость монтажных и пусконаладочных работ, в % от I. Комплектный привод (6%) Некомплектный(15%) | | 3183 14317,5 | 3183 14317,5 |
| II. Транспортно-заготовительные расходы 2%(I+II) | | 3108 | 3108 |
| III. Плановые накопления монтажной организации (6-15%) от II | | | |
| IV. Сметная стоимость проектно-конструкторских работ | | 501216 | 501216 |

Затраты на оборудование

Таблица 18 - Затраты на оборудование

| | Кол-во | Цена, руб | Общая стоимость, руб |
|---|--------|-----------|----------------------|
| V. Оборудование: | | | |
| Электродвигатель АИР160 S6, 11 кВт ¹ | 1 | 21220 | 21220 |
| Преобразователь «Danfos» VLT 2880 ² | 1 | 95450 | 95450 |
| Пуско-регулирующая аппаратура (20% стоимости некомплектного оборудования) | | 95450 | 0 |

| | | | |
|--------------|--|--|-------|
| Всего затрат | | | 68918 |
|--------------|--|--|-------|

Были рассчитаны капитальные вложения необходимые для реализации проекта с учетом цен декабрь 2017г.

Расчет расходов при эксплуатации электропривода

Эксплуатационные расходы включают следующие статьи затрат:

- Расходы на электроэнергию
- Заработная плата обслуживающего персонала
- Амортизационные отчисления
- Затраты на ремонт
- Расходы на материалы, связанные с эксплуатацией

Расчеты отдельных статей эксплуатационных расходов ведутся по формулам:

- Расчет стоимости силовой электроэнергии

Силовая электроэнергия используется для питания приводов рабочих механизмов и рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{P_{\text{уст}} \cdot F_{\text{д}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{з}}}{k_{\text{дв}} \cdot k_{\text{с}}}, (3.2)$$

$$W_{\text{сил.эн}} = \frac{11 \cdot 4000 \cdot 0,65 \cdot 0,7 \cdot 0,8}{0,94 \cdot 0,93} = 18320 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где

$P_{\text{уст}}$ – мощность установленного оборудования, кВт;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования, час;

$k_{\text{м}}$ – коэффициент одновременного использования электродвигателей

(0.6–0.7);

$k_{\text{в}}$ – коэффициент использования оборудования по машинному времени

(0.6–0.8);

$k_{\text{з}}$ – средний коэффициент загрузки оборудования (0.7–0.8);

$k_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий потери в сети (0.92–0.95);

$k_{дв}$ – коэффициент, учитывающий потери в двигателях (0.9–0.93).

Затраты на силовую энергию в денежном выражении рассчитывается:

$$C_{эл} = W_{сил\ эн} \cdot C_э, (3.3)$$

где $C_э$ – стоимость одного кВт·часа электроэнергии для промышленных предприятий. $C_э$ - одноставочный тариф на потребляемую электроэнергию для предприятия составляет 4,93руб/кВт·ч для Беловского района на 12.12.2017 г.

$$C_{эн} = 18320 \cdot 4,93 = 72000 \text{ руб}$$

Расчет амортизационных отчислений

Годовые амортизационные отчисления рассчитываются на основе норм амортизации

K – капитальные вложения в электрооборудование; H_A – проценты отчислений на амортизацию.

Электродвигатели –9.6%

$$A_{год} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 21220 \cdot 0.096 = 2037.12 \text{ руб}$$

– Преобразователи –3.5%

$$A_{год} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 95450 \cdot 0.035 = 3340.75 \text{ руб}$$

– Электропривод –9.6%

$$A_{год} = K \cdot \frac{H_A}{100} = 680918 \cdot 0.096 = 65368,13 \text{ руб}$$

4.3 Издержки на ремонтно-эксплуатационное обслуживание электроприводов.

Оборудование электроприводов (электродвигатели, генераторы, трансформаторы и т.д.) является ремонтируемым. Оно подвергается планово- предупредительным ремонтам, периодичность и объем которых регламентируется системой ППР и сетей промышленной энергетики. [22гл.IV,гл.XI]

Затраты на ППР электропривода

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{м}} + C_{\text{опр}} + C_{\text{охр}}, (3.5)$$

$C_{\text{зар}} = 106 \text{руб} \cdot \text{час}$ – заработная плата ремонтных рабочих;

$C_{\text{м}} = 93 \text{руб} \cdot \text{час}$ – стоимость материалов для ремонта;

$$C_{\text{общ}} = C_{\text{зар}} + C_{\text{м}} + = 106 + 93 + = 197 \text{руб} \cdot \text{час}$$

Для определения составляющих затрат на ППР необходимо установить периодичность ремонтного цикла, межремонтного периода, и трудоемкость работ по ППР. По трудоемкости работ определяется зарплата энерго– персонала.

Таблица 18 – Нормы трудоемкости ремонта электропривода

| Мощность, кВт | Норма трудоемкости, чел-ч | | |
|---------------|--|------------------|---------------------------|
| | Капитального ремонта без перемотки обмоток | Текущего ремонта | Технического обслуживания |
| 11 | 42 | 15 | 9 |

Таблица 19 – Затраты на ППР электропривода

| | Норма трудоем- кости, чел-ч | Периодичность | Затраты на ППР электроприво- да в час | Затраты на ППР электропривод а |
|---|--------------------------------------|-----------------|--|---|
| Капитального ремонта без перемотки обмоток | 42 | Раз в 2 года | 197 | 17438.4 |
| Текущего ремонта | 15 | Раз в 6 месяцев | | 6228 |
| Технического обслуживания | 9 | Раз в месяц | | 3736.8 |

В данной таблице рассчитаны затраты необходимые на планово–предупредительные работы, которые способствуют продлению эксплуатации данного электропривода.

Таблица 20 – Затраты на ППР электропривода в год

| Вид ППР | Затраты на ППР электропривода в год |
|---|--|
| Капитального ремонта без перемотки обмоток | 8719.2 |
| Текущего ремонта | 12456 |
| Технического обслуживания | 44841.6 |
| Итого | 66016.8 |

В данной таблице рассчитаны затраты на планово-предупредительные работы, которые были произведены, исходя из расчетов ППР электропривода в год.

В данной части ВКР был экономически обоснован выбор электропривода с асинхронным двигателем, был проведен расчет коэффициента научно-технического уровня, который оказался довольно высоким, что указывает на высокий потенциал данного проекта. Так же было выполнено планирование проектных работ, расчет сметы затрат на проектирование, расчет капитальных вложений на реализацию и расчет расходов при эксплуатации данного электропривода.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

БЖД представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально - экономических, производственных, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе трудовой деятельности.

В этом разделе мы постараемся рассмотреть возможные факторы, возникающие при выполнении операций производства работ, влияние этих факторов на окружающую среду и воздействия их на организм человека. Разработаем мероприятия по снижению уровня негативного влияния этих факторов на обслуживающий персонал. Рассмотрим рабочее место электромонтера-механика, произведем оценку условий его труда, оценку климатических условий, возможные опасные факторы которые могут привести к потере работоспособности, а также факторы, влияющие на качественные и количественные характеристики производительности труда. В нашей стране эксплуатируется большое количество лифтов различного конструктивного исполнения, которые обеспечивают нужды промышленных предприятий, административных и жилых зданий. Развитие отечественной лифтостроительной отрасли характеризуется активной деятельностью производителей лифтов и лифтового оборудования, направленной на повышение качества выпускаемой продукции, безопасности ее применения, надежности, долговечности, комфортности. На отечественном рынке появилась продукция, сертифицированная в соответствии с действующей в России «Системе сертификации ГОСТ Р», изготовленная предприятиями, имеющими сертификат качества производства по ГОСТ Р-2001 [3]. Отмечается устойчивая тенденция поиска новых решений, отражающих требования рынка и технократических достижений в различных отраслях производства. Происходит непрерывная модернизация и замена на новые более энерго-ресурсо емкие проекты лифтов. Широко применяются современные микропроцессорной

техники, прогрессивных методов частотного управления работой электродвигателей переменного тока, современной измерительной техники.

Основная цель мероприятий по охране труда - ликвидация травматизма и профессиональных заболеваний. Проведение мероприятий по улучшению условий труда дает ощутимый экономический эффект - повышается производительность труда, снижаются затраты на восстановление утраченной трудоспособности.

Разработаем защитные меры от возможных негативных влияний на организм, рассмотрим технику безопасности на рабочем месте, пожарную безопасность, мероприятия по охране окружающей среды.

5.1 Безопасность персонала обслуживающих лифты

Обслуживающий персонал.

Обслуживающий персонал, который должен проводить ТО, ремонты двигателя, преобразователя частоты и прочего коммутационного оборудования электропривода скоростного лифта должны иметь как 3 группу допуска к работам на электроустановках напряжением до 1000 В и удостоверение электромонтера 4 разряда. Все работы проводимые в электроустановках должны строго выполняться в соответствии с нормативными документами правилами и инструкциями.[17] Причем также персонал должен быть ознакомлен с правилами безопасной работы с электроустановками и знать действия при ЧС возникших рядом с электроустановками и сдать экзамены на подтверждение своей квалификации.

Меры безопасности при выполнении работ с электродвигателями.

Если работа на электродвигателе или приводимом им в движение механизме связана с прикосновением к токоведущим и вращающимся частям, электродвигатель должен быть отключен с выполнением предусмотренных настоящими Правилами технических мероприятий, предотвращающих его ошибочное включение. При этом у двухскоростного электродвигателя

должны быть отключены и разобраны обе цепи питания обмотокстатора.

Не допускается снимать ограждения вращающихся частей работающих электродвигателя и механизма. Также при работе на электродвигателе допускается установка заземления на любом участке кабельной линии, соединяющей электродвигатель с секцией РУ, щитом, сборкой. Если работы на электродвигателе рассчитаны на длительный срок, не выполняются или прерваны на несколько дней, то отсоединенная от него кабельная линия должна быть заземлена также со стороны электродвигателя.

В тех случаях, когда сечение жил кабеля не позволяет применять переносные заземления, у электродвигателей напряжением до 1000 В допускается заземлять кабельную линию медным проводником сечением не менее сечения жилы кабеля либо соединять между собой жилы кабеля и изолировать их. Такое заземление или соединение жил кабеля должно учитываться в оперативной документации наравне с переносным заземлением. Перед допуском к работам на электродвигателях должны быть приняты меры по затормаживанию роторов электродвигателей или расцеплению соединительных муфт. Необходимые операции с запорной арматурой должны быть согласованы с начальником смены технологического цеха, участка с записью в оперативном журнале.

Обязательно со схем ручного дистанционного и автоматического управления электроприводами запорной арматуры, направляющих аппаратов должно быть снято напряжение. Должны быть вывешены плакаты «Не открывать! Работают люди», а на ключах, кнопках управления электроприводами запорной арматуры - «Не включать! Работают люди». Работы по одному наряду на электродвигателях одного напряжения, выведенных в ремонт агрегатов, технологических линий, установок могут проводиться на условиях следующего правила:

- можно выдавать один наряд для работы на всех (или части) электродвигателях этих агрегатов (установок) и один наряд для работ в РУ на

всех (или части) присоединениях, питающих электродвигатели этих агрегатов(установок).

- выдавать один наряд допускается только для работы на электродвигателях одного напряжения и присоединениях одного РУ.

Допуск на все заранее подготовленные рабочие места разрешается выполнять одновременно, оформление перевода с одного рабочего места на другое не требуется. При этом опробование или включение в работу любого из перечисленных в наряде электродвигателей до полного окончания работы на других не допускается.

Порядок включения электродвигателя для опробования должен быть следующим:

- производитель работ удаляет бригаду с места работы, оформляет окончание работы и сдает наряд оперативному персоналу;
- оперативный персонал снимает установленные заземления, плакаты, выполняет сборку схемы.

После опробования при необходимости продолжения работы на электродвигателе оперативный персонал вновь подготавливает рабочее место и бригада по наряду повторно допускается к работе на электродвигателе. Работа на вращающемся электродвигателе без соприкосновения с токоведущими и вращающимися частями может проводиться по распоряжению.

Обслуживание щеточного аппарата на работающем электродвигателе допускается по распоряжению обученному для этой цели работнику, имеющему группу 3, при соблюдении следующих мер предосторожности:

- работать с использованием средств защиты лица и глаз, в застегнутой спецодежде, остерегаясь захвата ее вращающимися частями электродвигателя;
- пользоваться диэлектрическими галошами, коврами;
- не касаться руками одновременно токоведущих частей двухполюсов.

Кольца ротора допускается шлифовать на вращающемся электродвигателе

лишь с помощью колодок из изоляционного материала.

Меры безопасности при выполнении работ отключением электродвигателей

При подготовке рабочего места должны быть отключены:

- токоведущие части, на которых будут производиться работы;
- неогражденные токоведущие части, к которым возможно случайное приближение людей;
- цепи управления и питания.

В электроустановках напряжением до 1000 В со всех токоведущих частей, на которых будет проводиться работа, напряжение должно быть снято отключением коммутационных аппаратов с ручным приводом, а при наличии в схеме предохранителей снятием последних. При отсутствии в схеме предохранителей предотвращение ошибочного включения коммутационных аппаратов должно быть обеспечено такими мерами, как запирающие рукоятки или дверцы шкафа, закрытие кнопок, установка между контактами коммутационного аппарата изолирующих накладок и др. Аппараты напряжением до 1000 В недоступными для осмотра контактами определяется проверкой отсутствия напряжения на их зажимах либо на отходящих шинах, проводах или зажимах оборудования, включаемого этими коммутационными аппаратами. Проверку отсутствия напряжения комплектных распределительных устройствах заводского изготовления допускается производить с использованием встроенных стационарных указателей напряжения.

Вывешивание запрещающих плакатов и проверка отсутствия напряжения

При производстве работ в электроустановке на оборудовании находящемся

под напряжением или вблизи него. Необходимо последовательно соблюдать определенные операции для безопасности выполняющих работу. При работах на отключенных электроустановках до 1000В после выполнения операций по отключению электрооборудования, на которых будет проводиться работа. Необходимо убедиться, что на месте работ нет напряжения для этого используются проверенные и испытанные указатели напряжения после чего необходимо вывесить плакаты. Плакатов несколько категорий и все они необходимы, но самые на которые необходимо обращать внимание это запрещающие и предупреждающие. Допускается применять предварительно проверенный вольтметр.

Контрольными лампами пользоваться запрещено

После проверки отсутствия напряжения необходимо вывесить запрещающие плакаты «Не включать! Работают люди». Плакаты вывешиваются на коммутационные аппараты, при включении которых может быть подано напряжение.

Шум и вибрация.

Основным источником шума и вибрации в административных и жилых зданиях может являться электродвигатель лифтовой лебедки. Причиной шума может служить износ подшипников, неточна сборка деталей при ремонтах и т.п. Поэтому в процессе эксплуатации всех видов машин и механизмов следует точно выполнять все требования Правил технической эксплуатации.

Шум и вибрация наносит большой ущерб, вредно действует на организм человека и снижает производительность труда. Утомление рабочих из-за сильного шума увеличивает число ошибок при работе, способствует возникновению травм, а вибрационная болезнь даже к инвалидности.

Сильный шум вредно отражается на здоровье и работоспособности людей. Продолжительность действия сильного шума вызывает общее утомление, может привести к ухудшению слуха, а иногда и к глухоте. Таким образом

шум вызывает нежелательную реакцию всего организма человека.

При нормирование шума используют два метода: нормирование по предельному спектру шума, нормирование уровня звука в дБ. Таким образом, шум на рабочих местах не должен превышать допустимых уровней, значений которые приведены в ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»[15].

Допустимый уровень вибрации в жилых и общественных зданиях - это уровень фактора, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального состояния систем и анализаторов, чувствительных к вибрационному воздействию таблица 21.

То есть при эксплуатации скоростного лифта в общественных помещениях уровни звукового давления и вибрации не должны превышать допустимого значения.

Таблица 21. Допустимые значения вибрации в жилых помещениях.

| Среднегеометрические частоты полос, Гц | Допустимые значения по осям X ₀ , Y ₀ , Z ₀ | | | |
|--|--|----|--------------------------|----|
| | виброускорения | | виброскорости | |
| | м/с ² x 10 ⁽⁻³⁾ | дБ | м/с x 10 ⁽⁻⁴⁾ | дБ |
| 2 | 4,0 | 72 | 3,2 | 76 |
| 4 | 4,5 | 73 | 1,8 | 71 |
| 8 | 5,6 | 75 | 1,1 | 67 |
| 16 | 11,0 | 81 | 1,1 | 67 |
| 31,5 | 22,0 | 87 | 1,1 | 67 |
| 63 | 45,0 | 93 | 1,1 | 67 |
| Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни | 4,0 | 72 | 1,1 | 67 |
| Примечания. 1. В дневное время в помещениях допустимо превышение нормативных уровней на 5 дБ; 2. Для непостоянной вибрации к допустимым значениям уровней, приведенным в данной таблице, вводится поправка - 10 дБ, а абсолютные значения умножаются на 0,32; | | | | |

5.3 Чрезвычайные ситуации мирного времени

Противопожарная защита

Противопожарная защита – это меры по ведению противопожарного режима на предприятиях, различных территориях, где есть опасность возгорания.

Наибольшей опасностью по возгоранию это нефтяные базы, лесоторговые склады, частный сектор, леса, поля, т.д. Предметами опасности становятся электробытовые приборы, нагреватели, тэны, котлы и печи, костры на частных участках. В наше время активно ведется работа службами МЧС. По оповещению предупреждению пожаров и пожароопасных обстановок.

Энергооборудование является одним из факторов повышенной опасности. Много элементов оборудования при недопустимых режимах работы могут искрить возгораться взрываться что несет большую опасность не только для персонала но и для окружающих.

Средства пожаротушения: Огнетушители всех типов; Сухой песок; Вода; Кошма или асбестовое одеяло.

Много сейчас и систем оповещения автоматических сигнализаций. Пенные огнетушители, применяются для тушения горящих жидкостей, различных материалов, конструктивных элементов и оборудования, кроме электрооборудования, находящегося под напряжением.

Газовые огнетушители применяются для тушения жидких и твердых веществ, а также электроустановок, находящихся под напряжением.

Для обнаружения начальной стадии загорания и оповещения службу пожарной охраны используют системы автоматической пожарной сигнализации (АПС). Кроме того, они могут самостоятельно приводить в действие установки пожаротушения, когда пожар еще не достиг больших размеров. Системы АПС состоят из пожарных извещателей, линий связи и приемных пультов (станций).

Действия при пожаре и землетрясении в кабине лифта.

Действия при пожаре не должно быть паники если вы находитесь в кабине лифта и почувствовали запах гари увидели задымление. Обратитесь к диспетчеру нажав нВ кнопку «Вызов» объясните что происходит . основной причиной возгораний в лифтах обычная беспечность непогашенный окурок игры с огнем детей. Но так же не исключаются аварийные ситуации возгорание проводки, перегрев двигателя, короткие замыкания.

Не пытайтесь самостоятельно выбраться из кабины потому что вы можете повредить узлы для того что бы вас быстро эвакуировали завитее на помощь. При наличии телефона вызывайте МЧС. Покинув кабину заблокируйте вход в лифт и предупредите соседей.

При видимом возгорании персонал, обслуживающий электрооборудования должен сообщить вышестоящему руководителю и по возможности приступить к самостоятельному тушению пожара. Тушение осуществляется песком порошковыми , углекислотными огнетушителями. Можно использовать кошму или плотную ткань. Водой тушить нельзя потому что есть вероятность попадания под действие электрического тока.

Во время землетрясения действия подобны в первую очередь при остановки лифта и блокировании между этажами сообщите диспетчеру о том что произошло. Вызывайте оперативные службы МЧС. Попытайтесь приоткрыть двери если не получает не ломайте ждите помощь Если у вас получилось отвить двери выбирайтесь осторожно- есть возможность упасть в шахту лифта. Если в кабине несколько человек при выходе страхуйте друг друга.

При невозможности самостоятельно выйти из лифта до прибытия помощи закройте нос и рот носовым платком, рукавом одежды, смочив его водой, молоком, даже мочой, сохраняйте выдержку и спокойствие.

Заключение

Изучение эксплуатационной надежности лифтовых асинхронных двигателей является актуальной задачей электромеханики. Массовый ввод лифтов в эксплуатацию пришелся на 80-е годы прошлого века, соответственно количество лифтов выработавших срок службы, составляет порядка 35 % и продолжает расти. Материалы, представленные в работе, позволяют определить показатели надежности АДЛ на основе информации, поступившей в процессе их функционирования, выявлении недостатков эксплуатации, корректировке периодичности и трудоемкости технического обслуживания и ремонта, уменьшении длительности простоя пассажирских лифтов и снижении финансовых затрат. Проведенные в работе исследования эксплуатационной информации направленные на повышение эксплуатационной надежности АДЛ показали следующие научные и практические результаты:

1. Получены данные по отказам элементов лифтов и представлены в виде дерева целей. На АДЛ приходится 10% отказов лебедки, эти отказы приводят к длительному простоям пассажирских лифтов и являются наиболее дорогими по исправлению, как показал экспертный опрос. Получены данные по видам отказов АДЛ: статор – 41,8 %, датчики температурной защиты, входящие состав статора – 38,4 %, подшипниковые устройства – 8,1 %.
2. Проанализирована математическая модель для оценки эксплуатационной надежности АДЛ, представляющая собой математические формулы и связи между ними. Отличительной особенностью ММ является то, что она позволяет определять количественные показатели моделей надежности (экспоненциальной, Вейбулла, нормальной, логарифмически-нормальной) с учетом не только полных наработок, но и цензурированных методом наименьших квадратов с последующим уточнением. Проверка адекватности моделей надежности в предложенной ММ проводится с помощью линейного коэффициента корреляции, представляющего собой степень согласия эмпирического и теоретического распределений.

Определены показатели нормальной модели надежности для статоров групп АДЛ. Полученная модель позволяет определить периоды эксплуатации статоров АДЛ, определить ВБР на каждом периоде и определить ресурс до капитального ремонта АДЛ.

3. Полученные результаты надежности могут быть использованы для настройки и оптимизации режима ТОиР, что бы увеличить срок службы АДЛ, уменьшить вероятность отказа тем самым сэкономить деньги на аварийных ремонтах и простоях электрооборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин : учеб. пособие для вузов / Н.Л. Кузнецов. – М. : Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.
2. Стрельбицкий Э.К. Исследование надежности и качества электрических машин : автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Томск, 1967. – 44 с.
3. Гольдберг О.Д. Качество и надежность асинхронных двигателей. – М. : Энергия, 1968. – 202 с.
4. Похолков Ю.П. Разработка методов исследования, расчета и обеспечения показателей надежности и долговечности изоляции обмоток асинхронных двигателей : автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Москва, 1978. – 39 с.
5. Муравлёв О.П. Теория точности электрических машин и ее развитие в Томском политехническом университете // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308, № 4 – С. 236-242.
6. Обеспечение надежности асинхронных двигателей / П.И. Захарченко, И.Г. Ширнин, Б.Н. Ванеев, В.М. Гостищев. – Донецк : УкрНИИВЭ, 1998. – 324 с.
7. Сорокер Т.Г., Воскресенский А.П., Даниленко С.Е. и др. Оптимальное проектирование серий асинхронных двигателей на ЦВМ. Сб. трудов ВНИИЭМ. – М. : 1976. – Т. 47. – С. 22-30.
8. Оптимальное проектирование асинхронных взрывозащищенных двигателей / В.Ф. Горягин, В.И. Загрядский, Т.А. Сычева и др. – Кишинев : Штиинца, 1980. – 200 с.
9. Галушко А.И., Оснач Р.Г. Контроль состояния межвитковой изоляции обмоток электрических машин и аппаратов // Электроизоляционные материалы. – М. : МДНТП, 1973. С. 97-99.
10. Яманов С.А., Яманова Л.В. Старение, стойкость и надежность электрической изоляции. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 176 с.

11. Гольдберг О.Д. Инженерное проектирование и САПР. – М. : Академия, 2008. – 560 с.
12. О новом подходе к проектированию электрических машин / З.С. Темлякова, М.Г. Персова, Ю.Г. Соловейчик, Р.В. Петров, В.В. Гречкин // Электротехника. – 2007. – № 9 – С. 15-21.
13. Ланберсон Л. Надежность и проектирование систем. – М. : Наука, 1982.
14. Антонов М.В. Технология производства электрических машин. – М. : Энергоатомиздат, 1993. – 592 с.
15. Животкевич И.Н., Смирнов А.П. Надежность технических изделий. – М. : Институт испытаний и сертификации вооружений и военной техники, 2004. – 472 с.
16. ОСТ 16.0.800.821-88. Машины электрические асинхронные мощностью свыше 1 кВт до 400 кВт включительно. Двигатели. Надежность. Расчетно- экспериментальные методы определения. М. : Информэлектро, 1988. – 210 с.
17. Перель Л.Я. Подшипники качения: Расчет, проектирование и обслуживание опор. Справочник. – М. : Машиностроение, 1983. – 490 с.
18. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. – М. : Советское радио, 1962. – 552 с.
19. Шэннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М. : Мир, 1978. – 418 с.
20. Анализ надежности технических систем по цензурированным выборкам / В.М. Скрипник, А.Е. Назин, Ю.Г. Приходько, Ю.Н. Благовещенский. – М. : Радио и связь, 1988. – 184 с.
21. Петросов А.А. Стратегическое планирование и прогнозирование : учеб. пособие. – М. : Издательство Московского государственного горного университета, 2001. – 464 с.
22. Дуброва Т.А. Статистические методы прогнозирования. – М. : ЮНИТИ- ДАНА, 2003. – 205 с.

23. Шпет Н.А. Оценка эксплуатационной надежности технических устройств // Электронные и электромеханические системы и устройства : Тезисы докладов XIX науч.-техн. конф. 16-17 апреля 2015 г. – Томск : АО "НПЦ

"Полюс", 2015. С. 114-116.

24. Гаскаров Д.В., Голнкевич Т.А., Мозгалеvский А.В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры. – М. : Сов. радио, 1974. – 224 с.

25. Острейковский В.А. Теория надежности : учеб. для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 2008. – 463 с.

26. Гусев В.В. Показатели безотказности электрических машин при эксплуатации алмазодобывающего комплекса // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316, № 4. – С. 178-183.

27. Муравлёв О.П., Гусев В.В., Шевчук В.П. Стадия эксплуатации электрических машин в алмазодобывающем комплексе как объективный процесс оценки показателей надежности машин // Известия вузов. Проблемы энергетики.

– 2010. – № 3-4/1. – С. 27-37.

28. Полоvко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – 2-е изд. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.

29. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. – М. :

Мир, 1969. – 396 с.

30. ГОСТ 27.002–2009 Надежность в технике. Термины и определения. – Введ. 2011-01-01. – М. : Федеральное агентство по техническому регулированию и технологии : Стандартинформ, 2010. – 28 с.

31. Серый Е.В. Рейтинг дефектов низковольтных электродвигателей //

Рынок электротехники. – 2007. – № 2. – С. 35.

32. Боровков А.А. Теория вероятностей. – М. : Наука, 1976. – 431 с.

33. Ермолин Н.П., Жерехин И.П. Надежность электрических машин. – Л. :

Энергия, 1976. – 248 с.

34. Муравлёв О.П., Шевчук В.П., Гусев В.В. Информационное обеспечение для оценки эксплуатационной надежности электрических машин // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2008. – № 7-8/1. – С. 183-191.

35. Муравлёв О.П., Ведяшкин М.В. Эксплуатационная надежность асинхронных двигателей мостовых кранов // Известия вузов. Электромеханика. – 2011. – № 6. – С. 34-38.

36. Лифты : учеб. для вузов / под общ. ред. Д.П. Волкова. – М. : изд-во АСВ, 1999. – 480 с.

37. Волков Д.П., Чутчиков П.И. Надежность лифтов и технология их ремонта. М. : Строй-издат, 1985. – 130 с.

38. Владимирский электромоторный завод: Технический каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vemp.ru/pdf/Katalog_VEMZ_2008.pdf (дата обращения 20.03.2014).

39. Афонин В.И., Балабанов И.Н. Регулируемый электропривод лифтов с асинхронными электродвигателями // Электротехника. – 2006. – № 5. – С. 37-42.

40. Антропов А.Т., Ланграф С., Рикконен С.В., Гимпельс А. Современная лифтовая система с безредукторной лебедкой. // itech – журнал интеллектуальных технологий. – 2009. – № 14.

41. Афонин В.И. Предварительный выбор двигателей для привода редукторных лебедок лифтов // Электротехника. – 2008. – № 11. – С. 53-57.

42. Шпет Н.А. Основные требования, предъявляемые к асинхронным двигателям для лифтов // XVII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Современные техника и технологии" / Сборник трудов в 3-х томах. Т. 1. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – С. 567-568.

43. ГОСТ 15150–69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – Введ. 1971-01-01. – М. :

Государственный комитет СССР по стандартам : Стандартиформ, 2010. – 58 с.

44. ГОСТ ИЕС 60034-5–2011 Машины электрические вращающиеся. Часть 5. Классификация степеней защиты, обеспечиваемых оболочками вращающихся электрических машин (Код IP). – Введ. 2013-01-01. – М. : Федеральное агентство по техническому регулированию и технологии : Стандартиформ, 2013. – 16 с.

45. ГОСТ 20459–87 Машины электрические вращающиеся. Методы охлаждения. Обозначения. – Введ. 1989-01-01. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам : Изд-во стандартов, 1988. – 15 с.

46. ГОСТ 8865–93 Система электрической изоляции. Оценка нагревостойкости и классификация. – Введ. 1995-01-01. – Минск : Межгосударственный совет по организации, метрологии и сертификации : Изд-во стандартов, 2003. – 6 с.

47. ГОСТ 2479–79 Машины электрические вращающиеся. Условные обозначения конструктивных исполнений по способу монтажа. – Введ. 1981-01-01. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам : Изд-во стандартов, 1990. – 24 с.

48. ТУ16-18 ВИГЕ.526213.004ТУ Двигатели асинхронные 5АН180S...НЛБ, 5АН180S...НЛБ. Технические условия. – Владимир : ОАО "Владимирский электромоторный завод", 1998. – 47 с.

49. ТУ16-510.778-81 Двигатели асинхронные 4АМН160НЛБ, 4АМН180НЛБ, А200НЛБ(Ф). Технические условия. – Ярославль : ОАО "Ярославский электромашиностроительный завод", 2004. – 37 с.

50. ГОСТ 27.003–90 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. – Введ. 1992-01-01. – М. : Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам: Стандартиформ, 2007.

– 19 с.

51. ГОСТ 27.310–95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. – Введ. 1997-01-01. – Минск : Межгосударственный совет по организации, метрологии и сертификации: Изд-

во стандартов, 2002. – 12 с.

52. Дианов В.Н. Диагностика и надежность автоматических систем: учебное пособие.- М. : изд-во МГИУ, 2005. – 160 с.

53. Шпет Н.А. Выбор метода оценки эксплуатационной надежности асинхронных двигателей для лифтов // Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования : Материалы V Всероссийской научно-техн. конф. 17-18 мая 2012 г. – Томск: ТПУ, 2012. – С. 84-86.

54. Гольдберг О.Д. Испытания электрических машин : учебник для вузов. – 2-е изд. – М. : Высшая школа, 2000. – 255 с.

55. Пешес Л.Я., Степанова М.Д. Основы теории ускоренных испытаний на надежность. – Минск. : Наука и Техника, 1972. – 165 с.

56. Фукс Г.И., Кутейникова З.А. Поверхностные явления и надежность узлов трения механизмов приборов. // Надежность и долговечность. – М. : Машиностроение, 1984. – 180 с.

57. Нечипоренко В.И. Структурный анализ систем. – М. : Советское радио, 1977. – 216 с.

58. Бердичевский Б.Е. Вопросы обеспечения надежности РЭА при разработке. – М. : Советское радио, 1997.

59. Kaplan E.L., Meier P. Nonparametric Estimation from Incomplete Observations // J. Amer. Statist. Assoc. – 1958. – V. 53. – P. 457-481.

60. Nelson W. Hazard plotting for incomplete failure data // J. Qual. Tech. – 1969. – V. 1. – P. 27–52.

61. Gill R. D. Censored and stochastic integrals // Mathematical centre tracts. 124.

– Amsterdam : Mathematisch Centrum, 1980. – 172 p.

Анализа по цензурированным выборкам) / В.М. Скрипник, А.Е. Назин, Ю.Г. Приходько, В.В. Пискун. – Минск : МВИЗРУ, 1987. – 174 с.

62. Беляев Ю.К. Непараметрические методы в задачах обработки результатов испытаний и эксплуатации. – М. : Знание, 1984. – 60 с.

63. Беляев Ю.К. Статистические методы обработки результатов

испытаний на надежность. – М. : Знание, 1982. – 66 с.

64. Padgett W.J., McNichols D.T. Nonparametric density estimation from censored data // Comm. Statist. Theory Methods. – 1984. – V. 13, № 13 – P. 1581-1611.

65. Кендалл М.Ж., Стьюарт А. Статистические выводы и связь : Пер. с англ. – М. : Наука, 1973. – 900 с.

66. Мостеллер Ф., Тьюки Дж. Анализ данных и регрессия. – М. : Финансы и статистика, 1982. – 319 с.

67. Efron B. Censored data and bootstrap // J. Amer. Statist. Assoc. – 1981. – V. 76, № 374 – P. 312-319.

68. Адлер Ю.П., Гадолина И.В. Влияние числа бутстреп выборок на точность статистического оценивания в задачах контроля эксплуатационной надежности. – Планирование эксперимента : Материалы семинара / МДНТП. – М. : 1985. – С. 109-114.

69. Гниденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М. : Наука, 1965. – 524 с.

70. Крамер Г. Математические методы статистики : Пер. с англ. – М. : Мир, 1975. – 648 с.

71. ГОСТ 27.503-81 Методы оценки показателей надежности. – Введ. 1982-07-01. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам : Изд-во стандартов, 1982. – 56 с.

72. ГОСТ 27.504-81 Методы оценки показателей надежности по цензурированным выборкам. – Введ. 1985-07-01. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам : Изд-во стандартов, 1984. – 41 с.

73. Надежность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др. Под ред. И.А. Ушакова. – М. : Радио и связь, 1985.
– 608 с.

74. Фишбейн Ф.И. Графические методы в планировании и обработке результатов испытаний на надежность // В помощь слушателям

семинара по надежности и прогрессивным методам качества продукции. – М. : Знание, 1979. – С. 3-55.

75. Скрипник В.Н., Назин А.Е. Оценка надежности технических систем по цензурированным выборкам / Под ред. А.И. Широкова. – Минск : Наука и техника, 1981. – 144 с.

76. Назин А.Е., Приходько Ю.Г., Скрипник В.Н., Явид Ю.Ю. Вопросы обработки статистической информации по цензурированным выборкам. (Информационный обзор по материалам зарубежных публикаций). – Минск : МВИЗРУ, 1979. – 86 с.

77. Управление ремонтом и модернизацией оборудования (экономический аспект) / Н.И. Иванов, В.И. Хижняк, Л.Т. Хижняк и др. – Киев : Наук. думка, 1989. – 184 с.

78. Емелин Н.М. Отработка систем технического обслуживания летательных аппаратов. – М. : Машиностроение, 1995. – 128 с.

79. ГОСТ 18322-78 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. – Введ. 1980-01-01. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам : Стандартиформ, 2007. – 11 с.

80. Назарычев А.Н., Андреев Д.А. Методы и математические модели комплексной оценки технического состояния электрооборудования. – Иваново : Иван. гос. энерг. ун-т, 2005. – 224 с.

81. Назарычев А.Н. Методы и модели оптимизации ремонта электрооборудования объектов энергетики с учетом технического состояния. – Иваново : Иван. гос. энерг. ун-т, 2002. – 168 с.

82. Костелец Н.Ф. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин : учеб. – М. : Академия, 2003. – 342 с.

83. Ящура А. И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования: Справочник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.litmir.me/br/?b=117241&p=14> (дата обращения 12.01.2015).

84. Ерохин Е.А., Осинцев А.Е. Эволюция систем технического обслуживания и ремонта оборудования [Электронный ресурс] // Информационный сайт по экономике. – Режим доступа: <http://www.ekportal.ru> (дата обращения 10.01.2015).

85. Организация ремонтов: качество через ТРМ, или о предельной эффективности оборудования [Электронный ресурс] // Информационно-образовательный портал по Управлению ТОиР. – Режим доступа: <http://www.prostoev.net> (дата обращения 10.01.2015).

86. Зюзин А. Ф., Вишток А. М., Поконов Н. З. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования предприятий и установок. – М. : Высш. шк., 1971. – 366 с.

87. Синягин Н. Н. Экономические аспекты планирования и организации ремонта оборудования в промышленности США // Промышленная энергетика. 1972, – № 7. – С. 52-55.

88. Янковски Л. Проектирование механического оборудования лифтов / пер. с англ. под ред. С.Д. Бабичева. – М. : Изд-во АСВ, 2005. – 336 с.

89. Камышев А.Г. Грузовые и пассажирские лифты. Электрооборудование. М.-Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 64 с.

90. Павлов В.Г. Лифты и подъемники. М.–Л. : Машиностроение, 1965, – 204 с.

91. Пассажирские лифты / под ред. П.И. Чутчикова. – М. : Машиностроение, 1978. – 141 с.

92. Шпет Н.А. Структурная модель лифта для оценки его эксплуатационной надежности // XIX Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Современные техника и технологии" / Сборник трудов в 3-х томах. Т. 1. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – С. 361-362.

93. Веденева Е.А. Функции и формулы Excel 2007. – СПб. : Питер, 2008.

– 384 с.

94. Шпет Н.А. Анализ отказов асинхронных двигателей для лифтов в эксплуатации // Электромеханические преобразователи энергии : Материалы V Юбилейной Международной науч.-техн. конф. Имени Г.А. Сипайлова. 12-14 октября 2011 г. – Томск : ТПУ, 2011. – С. 25-28.

95. Беляев Ю.К. Статистические методы обработки результатов испытаний на надежность. – М. : Знание, 1982. – 97 с.

96. Шпет Н.А. Выбор системы показателей надежности асинхронных двигателей для лифтов // XVIII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Современные техника и технологии" / Сборник трудов в 3-х томах. Т. 1. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – С. 409-410.

97. Шпет Н.А. Модели надежности лифтовых асинхронных двигателей при эксплуатации // Электромеханические преобразователи энергии: Материалы VI Международной науч.-техн. конф. (Томск 9-11 октября 2013 г.). – ТПУ, 2013. – С. 54-59.

98. Проектирование электрических машин : учеб. для вузов / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев. Под редакцией И.П. Копылова. – 3-е изд. перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 2002. – 757 с.

99. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов : пер. с нем. / Под. ред. Г. Гроше, В. Циглера. М. : Наука, 1981. – 720 с.

100. Аронов И.З., Буртасов Е.И. Оценка надежности по результатам сокращенных испытаний. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 184 с.

101. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ / Пер. с англ. – М. : Мир, 1982. – 488 с.

102. Ведяшкин М.В. Компьютерная модель эксплуатационной надежности обмоток крановых асинхронных двигателей //

Электричество. – 2012. – № 6 – с. 59-61.

103. Яньков В.Ю. Попов А.А. Бобырь Г.А. Решение прикладных задач в пакете "МАТКАД". – М. : Спутник+, 2011. – 140 с.

104. Мозгалевский А.В., Гаскаров Д.В. Техническая диагностика : учеб. пособ. для вузов. – М. : Высш. шк., 1975. – 207 с.

105. Шпет Н.А., Муравлёв О.П. Исследование отказов пассажирских лифтов по данным эксплуатации // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323, № 4 – С. 123-125.

106. Шпет Н.А., Муравлёв О.П. "Кривая жизни" статорных обмоток асинхронных двигателей для лифтов. // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 325, № 4 – С. 103-110.

107. ГОСТ 520–2011 Подшипники качения. Общие технические условия. – Введ. 2012-07-01. – М. : Федеральное агентство по техническому регулированию и технологии : Стандартиформ, 2012. – 66 с.

108. ГОСТ 21424–93 Муфты упругие втулочно-пальцевые. Параметры и размеры. – Введ. 1996-07-01. – Минск : Межгосударственный совет по организации, метрологии и сертификации : Изд-во стандартов, 2002. – 10 с.

109. ГОСТ 3325–85 Подшипники качения. Поля допусков и технические требования к посадочным поверхностям валов и корпусов. Посадки. – Введ. 1987-01-01. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам : Изд-во стандартов, 1994. – 104 с.

110. ГОСТ 8338–75 Подшипники шариковые радиальные однорядные. Основные размеры. – Введ. 1976-07-01. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам : Изд-во стандартов, 2003. – 11 с.

111. ГОСТ 24810–2013 Подшипники качения. Внутренние зазоры. Введ. 2015-01-01. – М. : Федеральное агентство по техническому регулированию и технологии : Стандартиформ, 2014. – 18 с.

112. ГОСТ 17516–72 Изделия электротехнические. Условия эксплуатации в части воздействия механических факторов внешней среды. – Введ. 1973-07-01. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам : Изд-во стандартов, 1980. – 18 с.

113. ГОСТ 3189–89 Подшипники шариковые и роликовые. Система условных обозначений. – Введ. 1991-01-01. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам : Изд-во стандартов, 1990. – 11 с.

114. Асинхронные лифтовые двигатели с короткозамкнутым ротором с высотой оси вращения 160-225 мм. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://se33.ru/lift-electric-drive/23-lift-electric-drive/94-instruction-manual-induction-motors-for-lifts.html> (дата обращения 25.12.2014).

115. Чутчиков П.И. Ремонт лифтов : учеб. пособ. для сред. проф.-тех. училищ. – М. : Стройиздат, 1983. – 271 с.

116. Шпет Н.А. Анализ технического обслуживания и ремонта лифтовых асинхронных двигателей // XX Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Современные техника и технологии" / Сборник трудов в 3-х томах. Т. 1. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – С. 281-282.

117. Бродский М.Г., Вишиевецкий И.М., Грейман Ю.В. Безопасная эксплуатация лифтов. – М. : Недра, 1975, – 260 с.

118. Шпет Н.А., Муравлёв О.П. Прогнозирование эксплуатационной надежности и диагностика статорных обмоток двухскоростных асинхронных

двигателей // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014,

№ 4 – С. 174-178.

119. Вибрация в технике. Справочник в 6-ти томах. Под ред. К.В. Фролова. Том 1-6. – М. : Машиностроение, 1981.

120. Браташ О.В., Калинов А.П. Анализ методов вибродиагностики асинхронных двигателей [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://vibrosmart.ru/index.php/allvibro/18-2013-09-11-11-10-01> (дата обращения 15.03.2015).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Скриншоты программы для ЭВМ

```
T := READPRN("files/86-90.txt")
```

```
N := rows(T)
```

```
T := csort(T, 1)
```

```
τ := T(1)
```

```
a := T(2)
```

Определение числа цензурированных слева

$$k(A, c) := \begin{cases} n \leftarrow 1 \\ \text{while } A_n < c \\ \quad n \leftarrow n + 1 \\ n - 1 \end{cases}$$

```
k0 := k(a, 1)
```

```
k0 = ■ ■
```

Разделение массива с исходными данными на два: наработки до отказа и наработки до цензурирования

```
razdelenie(T, uslovie) := \begin{cases} i \leftarrow 1 \\ T2 \leftarrow (0 \ 0) \\ m \leftarrow rows(T) \\ \text{while } i \leq m \\ \quad \begin{cases} \text{if } (T^{(2)})_i = \text{uslovie} \\ \quad \begin{cases} \text{temp} \leftarrow \text{submatrix}(T, i, i, 1, 2) \\ T2 \leftarrow \text{stack}(T2, \text{temp}) \end{cases} \\ \quad i \leftarrow i + 1 \end{cases} \\ n \leftarrow rows(T2) \\ \text{submatrix}(T2, 2, n, 1, 2) \end{cases}
```

Параметры нормальной модели надежности:

$$\sigma_1 := \frac{(N - k_0) \cdot \sum_j (y_{j,3} \cdot x_{j,3}) - \sum_j x_{j,3} \cdot \sum_j y_{j,3}}{(N - k_0) \cdot \sum_j (y_{j,3})^2 - \left(\sum_j y_{j,3}\right)^2}$$

$$\sigma_1 = \bullet$$

$$\mu_1 := \frac{1}{N - k_0} \cdot \left[\sum_j x_{j,3} - \sigma_1 \cdot \left(\sum_j y_{j,3} \right) \right]$$

$$\mu_1 = \bullet$$

Интенсивность отказов:

$$\lambda_{empk} := \frac{f_{empk}}{(v_0 + v_1) - \sum_{k=1}^k (f_{0empk} + f_{1empk})}$$

$$\lambda_{empabsk} := \frac{\lambda_{empk}}{h}$$

Вероятность безотказной работы:

$$P_{empk} := \prod_{k=1}^k \frac{1}{1 + \lambda_{empk}}$$

Плотность распределения наработок:

$$f_{empk} := \lambda_{empk} \cdot P_{empk}$$

$$f_{empabsk} := \lambda_{empabsk} \cdot P_{empk}$$

Нормальная модель надежности:

Given

$$0 = P_{emp} - \text{snorm} \left[\frac{-(tm - \mu_1)}{\sigma_1} \right]$$

$$\begin{pmatrix} \mu \\ \sigma \end{pmatrix} := \text{Minerr}(\mu_1, \sigma_1)$$

До коррекции:

$$\begin{pmatrix} \mu_1 \\ \sigma_1 \end{pmatrix} = \bullet$$

Уточненные:

$$\begin{pmatrix} \mu \\ \sigma \end{pmatrix} = \bullet$$

Вероятность безотказной работы:

$$P_{Nk} := \text{snorm} \left[\frac{-(tm_k - \mu)}{\sigma} \right]$$

Плотность распределения наработок:

$$f_{Nk} := \text{dnorm}(tm_k, \mu, \sigma)$$

Интенсивность отказов:

$$\lambda_{Nk} := \frac{f_{Nk}}{P_{Nk}}$$

Математическое ожидание (средняя наработка до отказа):

$$TN := \mu$$

$$TN = \bullet$$

Коэффициент вариации:

Приложение 2

6. Forecasting operational reliability of asynchronous motor of elevator.

The relevance of the work is justified by the need to improve the operational reliability of stator windings of asynchronous motors, installed in the main drive of elevators in residential buildings. Their failures are expensive to fix and entail long-term downtime.

The main aim of the work is to estimate the reliability of stator windings of elevators asynchronous motors and to construct the «life curve». The reliability is to be estimated using the failure information, obtained in the course of their operation.

Research methods. The aim of the work had been achieved using probabilistic and statistical method with a help of the following software packages: MS Word, MS Excel, MathCAD. The utilized method is based on theorems of probability theory and mathematical statistics using collection and analysis of statistical data.

Results. The authors have studied the failures of stator windings of elevators asynchronous motors. The initial data set was constructed based on the research results. The data set consists of failures and censoring time of stator windings of elevators asynchronous motors. The authors considered normal, exponential, log-normal and Weibull model as the operational reliability models. A MathCAD-based program was developed to evaluate operational reliability which allows building experimental distributions and further calculating parameters of theoretical distributions and reliability. The most appropriate reliability model was chosen based on the correlation between empirical and theoretical distributions. As a result the «life curve» of the stator windings of elevators was constructed; it can be further used to develop more effective system of maintenance and repair.

INTRODUCTION

Elevator is a specific vehicle ment to transport people and cargo. Long interstorey conveyance in tall buildings and deep mines With the help of elevators became possible. It is a distinction of elevator from any other vehicles that any passenger inside may operate it. This is possible due to development of automation. Elevator is

considered to be a complex of electromechanical equipment, thus its constructional design is an object of stringent requirements provided by Rules of installation and safe operation of elevators. From the beginning of installation and until the end of elevator usage, it is crucial to meet the requirements of the Rules to ensure passengers' safety. There are two types of elevators: the electric and the hydraulic ones. The most commonly used type is naturally electric one, due to its reliability and maintenance simplicity. The basis of an elevator is its lifting mechanism called motor drive. This paper considers the currently existing elevator systems and development perspectives. As a result, a controllable electric motor drive is designed to be used in a gearless elevator.

Types of elevator units.

Elevators are found to be useful in many aspects of human life, yet they aren't universal vehicles, thus have to be classified accordingly. Elevator units classification: by the purpose intended: passenger-carrying is designed only to carry people; cargo-and-passenger is used to transport both people and cargo; bed elevators specialize in transporting patients; cargo-only is used to move cargo; purpose-built (nonstandard) elevators are engineered to meet specific needs and requirements; by motor drive modifications: electric drives for AC or DC grid; hydraulic drive is made as a hydraulic cylinder or a rotary type hydraulic motor; by movement transmitting mechanism: rope elevator transports its lift cabin with the help of hauling cables; chain drive, spline and screw types move cabins with haulage chains; by means of movement transmission from traction unit to haulage cables: winding elevators; traction sheave elevators; by means of ropes action on cabin: upper mounted ropes; ram elevators with ropes mounted over the bottom of a cabin.; by rope reeving scheme: elevators with direct polyspast cabin mounting; elevators with rope multiplier; by machine room layout: upper position machine room; lower position machine room; by hauler design modification: gear drive; gearless drive; by cabin speed: low-speed – cabin (movement speed is up to 1 m/s); high-speed cabin (speed is 1.4 – 2 m/s); express elevator (speed \geq m/s); by cabin stop precision: with precise stop system; without precise stop system.

Design and function.

The inherent parts of an elevator are: cabin, balance, electric drive, speed limiter, hauling ropes, cabin guideways, electric equipment.

The inherent parameters to begin with are as follows: $M = 400 \text{ kg}$ is the carrying capacity; $M_{bal}=1000\text{kg}$ is the balance mass; $M_{cab}=800\text{kg}$ is the empty cabin mass; $V=1 \text{ m/s}$ is the normal movement speed of cabin; Kinematic scheme description (Fig.. E.1). 129

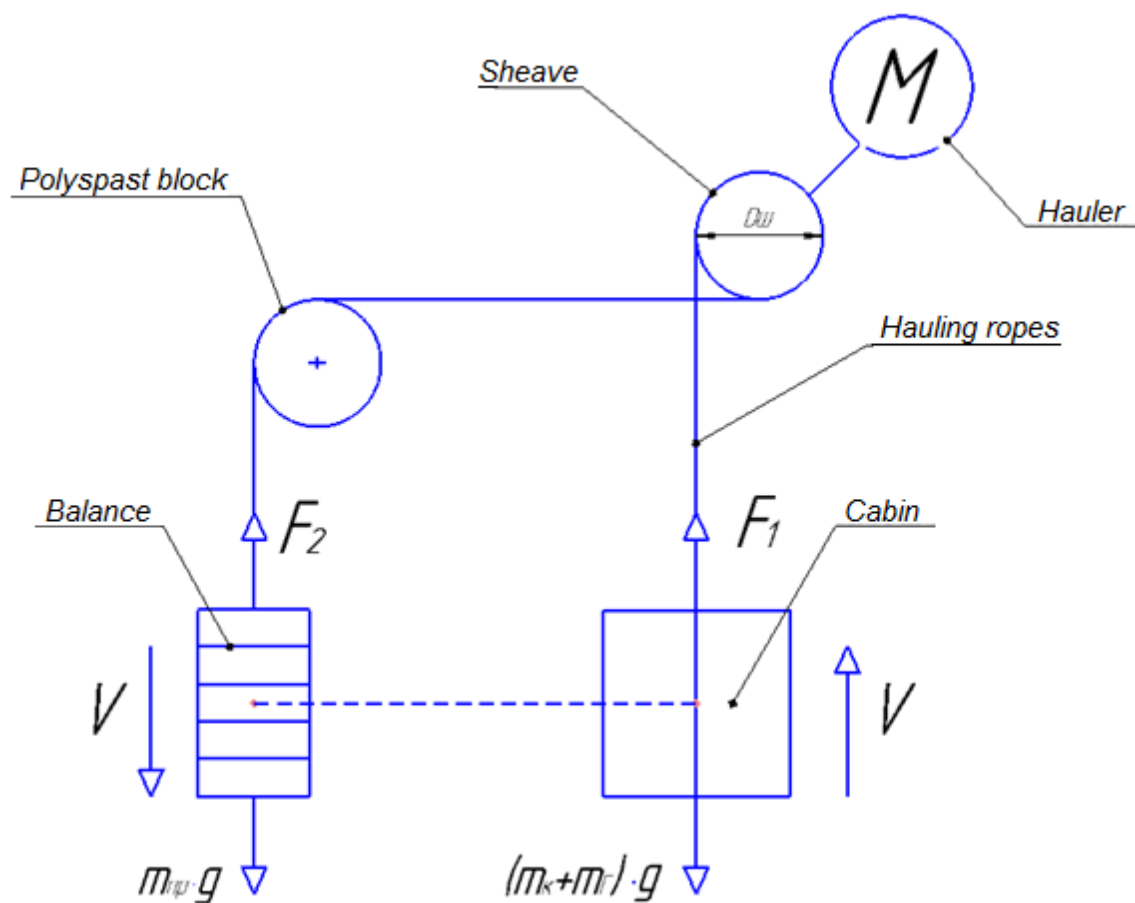


Figure E.1 – The kinematic scheme of elevator

The hauling ropes from sheave envelop polypast block on the cabin and the cabin and the balance are mounted to the upper flooring inside the shaft. With the help of elevator hauler the movement of cabin and balance is performed by the hauling

ropes. Also there are a deceleration device and a control station in the machine room. The elevator car controls is available to any passenger. Pressing the elevator call button sends a signal to the control station. The controller having received this signal forms a task: if the cabins are on the same floor as the control panel, from which the signal comes, an opening occurs; if the cabin is on another floor, a signal to move is sent. If the cabin moves while receiving a command, the task is formed accordingly to the movement direction. If the elevator moves the same direction, it 130 stops by to pick up new cargo. Otherwise, the signal is saved to be sent on the way back. To maintain a precise stop of the cabin and for the sake of passengers' comfort the actuators are used. These actuators are placed on a certain distance from the floor depending on the cabin operating speed. A signal from the actuator switches the drive to the lower frequency. Then a stop command is sent. At the moment of elevator car being on the floor level the brake activates and the doors open. In our case the gearless hauler drive with a frequency transformer completely excludes stepped acceleration or deceleration because of the wide speed adjustment range. Elevators are treated as equipment with high safety requirements. To exclude the case of doors being locked down while passengers are inside, sudden stops out of the floor, etc, the cabin movement is possible only if all the systems are intact. If any fault occurs, the elevator is not allowed to move, due to the control circuit being broken by interlocks. The only one button that works is "Communicate executive"

The main part of an elevator is its lifting (hauling) drive. Passengers are transported inside an elevator car equipped with automated doors and actuators excluding movement while the doors are open. To center the cabin and the balance on level and to exclude traverse rocking while moving, guideways are used along the shaft. The guideways make it possible to stop the cabin or the balance with the help of elevator car safeties in case of speed limit being exceeded. The space in which the cabin moves is called a shaft. The room where the hauler and other equipment are installed is named a machine room. The lowest shaft part is lower than the lowest floor. There a limit screw or a buffer is placed to limit the cabin or the balance movement. 131 To prevent cabin or balance falling down the shaft the elevator is equipped with automated safety. The elevator car safeties installed on both left and

right sides of the frame and are activated by speed limiter and moved by a rope wrapping over the speed limiter sheave. In the areaway of the shaft a jacking device is installed. A control station operating the elevator and apparatus are placed in the machine room. The station is linked to electric equipment in the elevator car with the help of an overhead cable and a bunch of wires mounted in the shaft. Deceleration picking up units, bypass and shaft door controls are also installed inside the shaft. An elevator equipment placement sheet is shown in Fig. E.2. The hauler and the control cabinet take place in the machine room restricted to unauthorized persons.

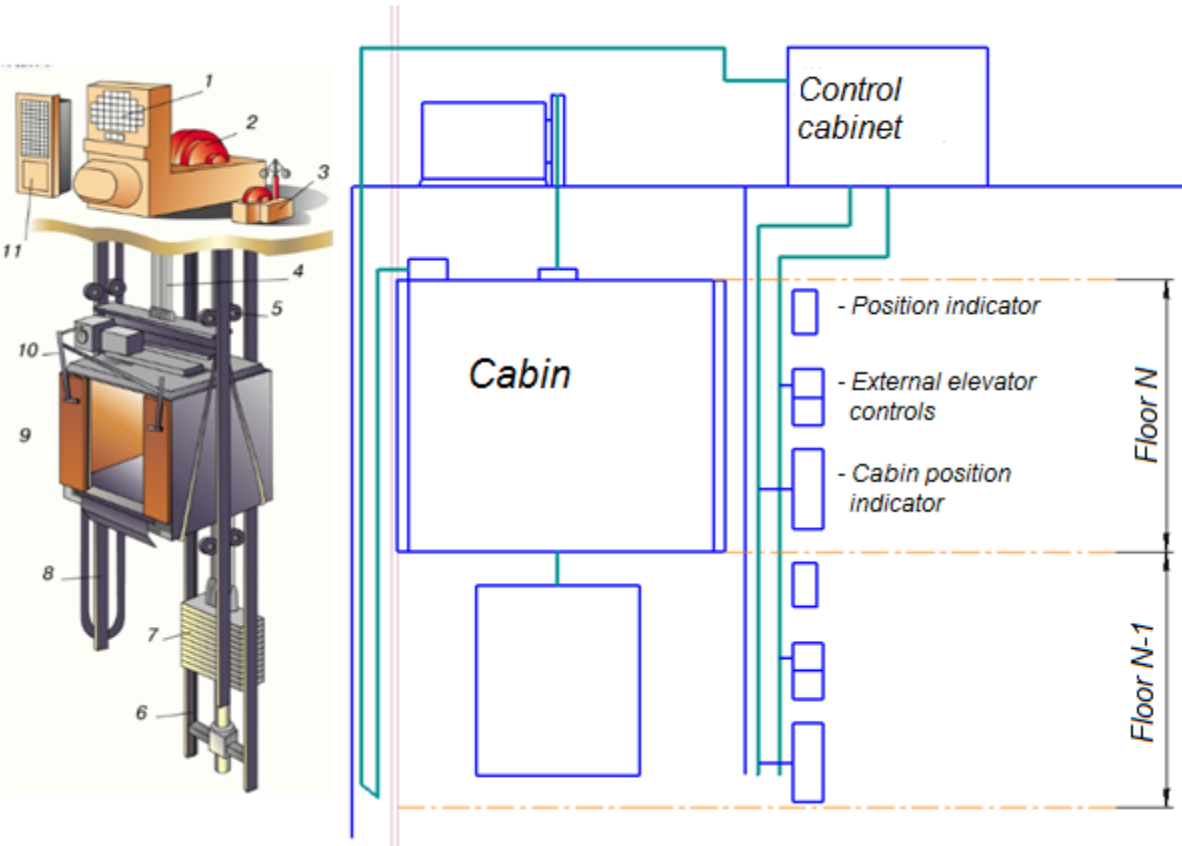


Figure E.2 – Elevator equipment technological plot

The main control board is installed inside the control cabinet. Sequential transmission line is divided into cabin channels and shaft channels. The cabin channel is an overhead cable connected to a joint box.

List of technological variables, actuators. Assessment of measurement accuracy.

Insofar as the hauler electric drive is the main component of elevator equipment, almost all the below listed variables depend on it:

- 1) Car weight is constantly changing in accordance with the passenger count, thus changing drive torque;
- 2) Elevator car position in the shaft, sheave tilting angle; Current and voltage variables are transduced into machine drive controls.
- 3) The elevator car speed;

Consequently, to make manipulations over the elevator car precise, the listed variables are essential. The control is carried out in a few stages. A frequency transformer is used to operate the elevator hauler drive with the help of vectorial control over the induction motor, thus allowing motor speed to be altered in a wide range for the sake of smooth acceleration/deceleration. The operation itself may run with the help of a frequency transformer alone, but such a system is unreliable and thus it is not used in elevator units. The operation task for the drive is compiled by a microcontroller or by servocontroller of custom modification, which in turn communicates with an operator station. In particular the controller, provided the actuator signals are 133 available, forms the best move command for the main electric drive and door drive. Information about accidents and failures is immediately sent to the operator station.

Major processing controls requirements definition. Quality criterion stating.

The main purpose of elevator car controls is to make sure positioning is comfortable and accurate. Human body reasonably bears 30–40 m/s² acceleration if duration is less than 0.4 s. Therefore, a short intense acceleration is acceptable. Elevator accessibility is defined not only by the acceleration, but also by other factors. These items are considered below: The elevator hold time is the time a passenger has to wait in place It is reasonable to include increased movement speed of a car if it is empty in case of a tall building. In this case the building is not tall, thus normal movement speed is selected. Smoothness and precision of stop is provided with the help of precise stop actuators. At reaching the destination floor a deceleration signal is formed. As long as the gearless drive is operated by vectorial controls with the

help of a frequency transformer, smooth movement availability is no challenge. Noise present while moving is also an accessibility factor. Gearless drive compared to geared one possesses an advantage of being much less noisy. General electric drive requirements.

As the electric drive is the main unit of the elevator equipment, it is imperative to state general requirements asserted to the elevator being developed. The requirements are as follows: Reliability, safety; Noiseless; Exploitation simplicity; Elevator car acceleration limitation; Movement smoothness; Revision speed presence ($V_{rev} \leq 0.36$ m/s.

Elevator haulers.

Elevator hauler is a mechanism used to gear the elevator car. Quality and safety are regulated by The Rules of installation and safe operation of elevators. The guidelines are as follows:

- The hauler and its components must bear the maximum stress met during the exploitation period.
- Winding drum haulers and star geared haulers are allowed at speed up to 0.63 m/s. Balance is forbidden to use in junction with these types of haulers.
- The brake pulley must be connected kinematically to the traction unit.
- The hauler is equipped with a claw flange to make cabin movement possible in case of a power cut.
- Demountable or stationary modifications of shifter are allowed;
- The shifter must have a marking to identify its affiliation with a certain hauler. The cabin movement direction, provided the shifter is turned, must be marked on the hauler;
- The machine room must have the elevator car position controls.

The most commonly used drive type for elevators is the induction motor drive. The induction motors are considered the most reliable and with advent of frequency transformers the induction motor-based drives have advanced in rotary speed adjustment. Frequency and vector control makes wide adjustment range 135 possible. Considering all these advantages, induction motor based drives gradually

edged out dc drives. An induction motor rolls over only for synchronous motors in terms of properties, but this type of drive has started its development recently, so it might take a while for the synchronous motors to take a stand. Rotary hydraulic drives are used strictly in buildings with low number of storeys. Hydraulic type of motors has not developed enough in Russian elevator engineering. There are a few variations of traction unit: a winding drum hauler (Fig. E3, a), a hauler with a traction sheave and a star geared hauler. Usually, a traction sheave is selected as a traction unit due to the reasons considered below. Haulers differ in terms of kinematic link to the motor in a following way: geared haulers whose rotation is maintained through a gear and gearless haulers, which on the contrary have no gear (Fig. E.3,6). Gear is a mechanism which transforms motion while altering rotation speed and torque.

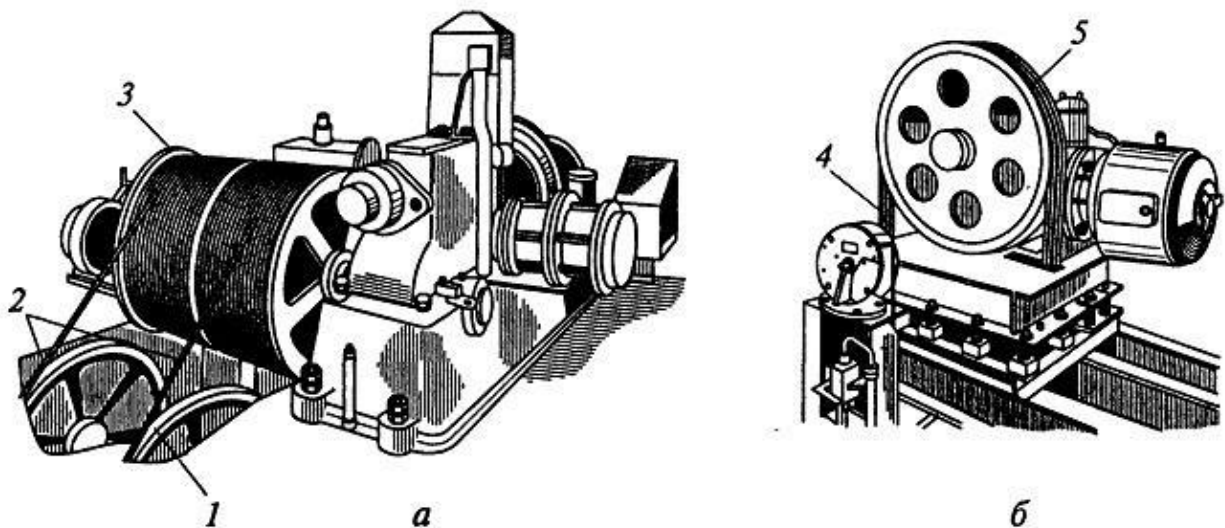


Figure E.3 – Hauler types:

A - is the drum winding hauler; b - is the hauler with a traction sheave equipped; 1 - is the angle pulley; 2, 4 - are the ropes; 3 - is the drum; 5 - is the traction sheave

Slow speed induction motors.

At the present day most of the elevator drives consist of dual speed induction short-circuit winding motor, gear, brake and relay contact controls. The most notable issue with the relay contact control system lies in its reliability and off-tuning which leads to high inrushes at start. As for the mechanical part of the system, its stiff mechanical characteristics and high dynamic torques arise from the same imperfect

control system. Due to semiconductor electronics and microprocessors developing rapidly the variable frequency drives became handy and profitable. Therefore, such scheme as frequency transformer – induction motor became a transition tendency for gearless drives. The major advantages of gearless drive are:

- Gear eliminating, which means mechanical losses, size and weight decrease.
- High comfort transportation due to the increase of start and stop smoothness.
- Low noise and vibration levels, thanks to gear nonexistence.
- The most efficient gearless electric drive development direction is implementation of low-speed high-torque induction motor.

Low-speed based drive differs from convenient ones in terms of low normal rotation speed (50 – 300 rpm), considerably higher torque, low voltage frequency and inrushes up to 2-3 times decreased. Besides, microprocessor based digital system utilization in slow induction motor controls gives an opportunity to implement flexible operation algorithms and provides all the necessary properties of the drive, such as positioning precision and elevator accessibility.

Slow speed induction motor analysis.

As mentioned before, it is extremely ineffective to utilize general purpose industrial grade motors to achieve high torque at low speed. To solve this issue a purpose built motor different from serial ones is to be developed. One of the main distinctions of low-speed operation (less than 5 – 10 Hz) is the electric loss amount in stator windings. The mechanical loss and the core loss contribute a tiny part of the total loss, because of rotation speed being low, thus making the losses nonsense. 138 Therefore, the major requirement to steel is not specific loss, but a possibility for the magnetic system to act in case of heightened induction and minimum magnetizing current.

Elevator frequency transformers

With the appearance of frequency transformers the development of motor drives has become significant. Due to inverters it is possible to adjust induction motor speed much more precisely than it used to be with other means of voltage control. Utilizing frequency transformers one contributes positively for current inrushes, for

precision of movement. As the whole elevator car movement system improves, mechanical components, such as hauler cables, guideways, balance chassis, etc. age slower. Yet the most essential for us is gearless hauler drive availability in junction with a slow induction or a synchronous motor. It is inefficient to utilize general purpose industrial grade frequency transformers, due to the elevator controls being complex. A few additional requirements for elevator-purposed frequency transformers are listed below:

- Nominal torque as drive starts and dynamic properties improvement with the help of vectorial controls over the induction motor.
- Multifunctionality, operation with either the induction or a synchronous motor suitable for gearless hauler drive;
- An S-shaped set point intensity adjuster is a must to ensure smooth acceleration and deceleration.
- The frequency transformer interface and software should take in account the operation distinctive features: brake controls, servocontroller cooperation;
- Emergency elevator car dragging to the nearest floor must be present with all the associated actuators and safeties;
- Reserved power source should be available to switch to in case of emergency or a power cut from the main grid.
- Enhanced reliability;
- Recuperation mode should be available while decelerating.
- The inverter unit should meet the standards of electromagnetic comparability, stated to elevator drives used in residential buildings.

The demand for multifunctionality comes from gearless frequency-controlled drives abundance. Gearless drives find their use in express or comfort-oriented elevators in tall buildings and buildings having no machine room. By eliminating gear from the mechanical part of the drive, one may improve weight-size parameters of the unit and simplify its maintenance. Considering all abovementioned requirements, only the synchronous and slow induction motor-based drives became widespread and common. This is mostly because of

gearless hauler requires a motor possessing low nominal rotary speed.

REFERENCES

1. Appunn R., Schmulling B., Hameyer K. Electromagnetic Guiding of Vertical Transportation Vehicles : Experimental Evaluation // IEEE translations on Industrial Electronics. 2010. - V.57. - №1. - P. 335 - 343.
2. Gearless machine for high-rise elevators PMR340. Schindler Company. -2004. p. 50 p.
3. Jong J., Hakala H. The Advantage of PMSM Elevator Technology in High-Rise Buildings // IAEE, Proceedings of Elevcon. 2000. - P. 284.
4. Komatsu Takanori, Daikoku Akihiro. Elevator Traction Machine Motors // Mitsubishi Advance. September 2003. - V.103.
5. Lüh P.B., Bo Xing, Shi-Chung Chang. Group Elevator Scheduling With Advance Information for Normal and Emergency Modes // IEEE translations on Automation and Engineering. 2008. - V.5 - №2. - P. 245 - 258.
6. Osama M., Abdul Azim O. Implementation and Performance Analysis an Elevator Electric Motor Drive System // MEPCON, 12th International Middle East Power System Conference. 2008. - P. 114-118.
7. Utgoff P.E., Connell M.E. Real-Time Combinatorial Optimization for Elevator Group Dispatching // IEEE translations on Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans. 2012. - V.42. - №1. - P. 130 - 146.

Студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-------------|---------|------|
| 5АМ6М | Дзариев Т.М | | |

Консультант – лингвист кафедры ИЯЭИ:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Федорина З.В | к.ф.н | | |

