

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Донской государственный технический университет»

На правах рукописи

АПРЫШКИН ДМИТРИЙ СЕРГЕЕВИЧ

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН С КАНАТНОЙ
ТЯГОЙ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Специальность 2.5.21 – Машины, агрегаты и технологические процессы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Ростов-на-Дону
2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Донской государственный технический университет» на кафедре «Эксплуатация транспортных систем и логистика».

Научный руководитель	Хазанович Григорий Шнеерович, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, профессор, доктор технических наук, главный научный сотрудник Центра научных компетенций Донского государственного технического университета
Официальные оппоненты	Максимов Валерий Павлович, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобили и транспортно-технологические комплексы» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова Зиновьев Владимир Евгеньевич, доцент, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Эксплуатация и ремонт машин» Ростовского государственного университета путей сообщения
Ведущая организация	Государственное образовательное учреждение высшего образования Луганской Народной Республики «Луганский государственный университет имени Владимира Даля» (ГОУ ВО ЛНР «ЛГУ им. В. Даля»)

Защита диссертации состоится 07 апреля 2023 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.297.05 в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Донской государственный технический университет» по адресу: 344003, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, ауд. 1 - 252.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донского государственного технического университета и на сайте www.donstu.ru

Автореферат разослан «_____» _____ 2023 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, доктор технических наук

А.Т. Рыбак

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

Обеспечение надежности и необходимого технического состояния машин с канатной тягой относится к числу важных задач, решение которых определяет безопасность их эксплуатации и затраты на производство продукции или транспортирование. Установление, оценка показателей и обеспечение указанных характеристик машин этого класса производится методами, общими для объектов машиностроения. Вместе с тем, для каждой конструктивной группы машин с канатной тягой реализуются свои оригинальные подходы. Необходимо выделить семейство транспортных машин с канатной тягой циклического действия – подъемники, лифты различного назначения и другие машины, в которых каждый цикл сопровождается многократным действием максимальных усилий для пуска и последующего торможения системы. Такие объекты работают в режиме случайных воздействий по величинам нагрузок и точкам их приложения, а также по относительной длительности включенного состояния. Для машин, работающих в режиме случайных входных воздействий, широко применяются методы имитационного моделирования (далее ИМ). Это позволяет, не снижая достоверности конечных результатов, существенно снизить затраты и сроки выполнения исследований.

Анализ исследований, нормативной литературы и эксплуатационных документов показывает, что для пассажирских лифтов устанавливаемая периодичность технического обслуживания (далее - ТО) не зависит от фактических условий и режимов эксплуатации. Периодичность ТО определяется заводским руководством по эксплуатации и нормативными документами. Она принимается одинаковой для всех объектов лифтового хозяйства независимо от этажности дома, плотности заселения этажей и квартир, параметров лифтовой установки – грузоподъемности, скорости перемещения, а также от показателей текущего технического состояния объекта.

Для оценки текущего технического состояния лифтовой установки за некоторый заданный во времени период эксплуатации, используются следующие показатели: временные, т.е. чистая удельная продолжительность эксплуатации (или коэффициент чистого машинного времени - ЧМВ) и удельное число включений механизмов в единицу ЧМВ, а также эквивалентные нагрузки, действующие на силовые элементы, и доля отработки ресурса в соответствии с исходным нормативным значением. Перечисленные показатели формируются в процессе функционирования объекта как последовательность случайных циклических воздействий.

В зависимости от сочетания величин указанных случайных воздействий, очевидно, изменяются темпы износа оборудования, частота и тяжесть отказов. Поэтому должен существенно изменяться регламент ТО, в частности периодичность ремонтных и профилактических работ. Однако рекомендации по корректированию программ ТО в существующей нормативной документации отсутствуют.

Следует отметить, что неполнота научно-методической базы по проектированию периодичности ТО конкретных лифтов приводит в одних случаях к превышению необходимого объема ремонтных воздействий с одновременным ростом затрат; в других – к необоснованному увеличению межремонтного интервала, преждевременной потере работоспособности и снижению уровня безопасности установки.

Изложенное позволяет считать, что исследования, направленные на установление комплексных оценок технического состояния машин с канатной тягой циклического действия с учетом условий и режимов их эксплуатации на базе адекватных процедур ИМ, и разработку на этой основе требуемой периодичности ТО, является актуальной.

Степень разработанности темы. В настоящей работе исследования для оценки технического состояния машин с канатной тягой, на примере пассажирских лифтовых установок, выполнены в следующих направлениях: установление реальных эквивалентных нагрузок и режимов работы; обоснование комплексного показателя для оценки уровня нагруженности силовых элементов лифта; разработка рекомендаций по периодичности обслуживания лифтов,

как в уже эксплуатируемых, так и в проектируемых домах.

В отечественной литературе, посвященной исследованиям машин с канатной тягой циклического действия, в частности, лифтовых установок вопросы взаимосвязи условий и режимов эксплуатации и периодичности ТО лифтов не рассматривались. Определенный опыт решения подобных проблем накоплен учеными Китайской Народной Республики. Также известен ряд исследований в области эксплуатационной надежности отдельных узлов лифтовых установок, представленный в работах российских ученых.

Цель работы. Повышение эффективности технического обслуживания машин с канатной тягой циклического действия путем обоснования требуемой периодичности профилактических и ремонтных работ». *Исследования проводились на примере пассажирских лифтов.*

Идея работы: Заключается в обосновании периодичности технического обслуживания машин с канатной тягой циклического действия в реальных условиях эксплуатации путем оценки их технического состояния с использованием (методов) имитационного моделирования

Объект исследования: представительная совокупность пассажирских лифтов массового производства и применения в многоэтажных жилых зданиях городов и городских поселений Российской Федерации, охраняемая нормативными требованиями по обеспечению безопасности путем проведения плановых процедур ТО и ремонта.

Предмет исследования: закономерности функционирования пассажирских лифтовых установок и их основных узлов, обеспечивающих техническое состояние с учетом прилагаемых в процессе эксплуатации нагрузок по эквивалентному уровню и частоте, и взаимосвязи режимов нагружения лифтовых установок с необходимым и достаточным объемом ТО, гарантирующим требуемый уровень готовности.

Научная новизна:

1. Установлены закономерности (зависимости) для машин с канатной тягой циклического действия (на примере пассажирского лифта или группы лифтов с общим входным пассажиропотоком) в виде системы массового обслуживания, для которых идентифицирована совокупность независимых случайных воздействий, позволяющих реализовать программу и выполнить процедуры ИМ во времени с получением статистических показателей уровней нагруженности базовых узлов вышеназванных машин.

2. Получены аналитические распределения дискретной случайной величины – количества промежуточных остановок при движении лифта с пассажирами, позволяющие определить распределение случайного числа включений его главного привода (далее – ГП) и привода дверей.

3. Установлена взаимосвязь фактической загруженности несущих элементов машины с канатной тягой циклического действия (пассажирского лифта), учитывающая силовые, временные показатели и относительную долю отработки ресурса, с периодичностью ТО.

Практическая значимость работы: для машин с канатной тягой и циклическим принципом действия, в частности, для пассажирских лифтов, в разработанной инженерной методике поэтапно описываются стохастические воздействия, алгоритмы и программы ИМ, позволяющие оценить уровень технического состояния машин в конкретных условиях эксплуатации, на основе которых устанавливается требуемая периодичность ТО.

Эмпирическая база исследования: основана на анализе показателей работы машин с канатной тягой, на примере пассажирских лифтовых установок, и мероприятиях по обеспечению уровня готовности. Исходные показатели нагруженности силовых элементов машин, использующих канатную тягу (пассажирских лифтов), получены в ООО «Лифт Сервис» в г. Ростов-на-Дону.

Научные результаты, выносимые на защиту:

1. В целях математического описания, адекватного реальным условиям, силовых и временных характеристик функционирования транспортных машин с канатной тягой циклического действия, имеющих на входе случайный пассажиропоток, рабочие процессы этих машин формируются на базе имитационной модели массового обслуживания, в которой входные воздействия представляют собой независимые дискретные или непрерывные случайные

величины.

2. Экспериментально установлены и аналитически обоснованы функции распределения случайных величин входных и внутренних воздействий: продолжительности ожидания начала очередного цикла, номеров этажей ожидания, вызова и назначения лифта, уровня загрузки кабины, количества промежуточных остановок.

3. На основе взаимосвязи характеристик режимов и условий эксплуатации и результатов ИМ уровня нагруженности разработана методика корректирования нормативной периодичности ТО базовых узлов машин с канатной тягой (на примере лифтовых установок). Методика обеспечивает поддержание необходимого уровня технического состояния машин и позволяет на стадиях проектирования и эксплуатации при установлении периодичности ТО учесть параметры жилого дома, лифтовой установки и основные факторы, от которых зависит уровень загруженности ГП и основных узлов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Содержание исследований соответствует специальности:

2.5.21 Машины, агрегаты и технологические процессы. Область исследования: п. 7. Разработка и повышение эффективности методов технического обслуживания, монтажа/демонтажа, технологии ремонта, диагностики и мониторинга, охраны труда, промышленной и экологической безопасности на стадии эксплуатации машин, комплектов машин, транспортно-технологических систем, агрегатов, механизированного (автоматизированного и роботизированного) технологического оборудования и инструмента.

Степень достоверности результатов проведенных исследований. Подтверждается обоснованным сочетанием экспериментальных исследований и имитационного моделирования процессов функционирования лифтовых установок; доказательством адекватности результатов имитационного моделирования в сравнении с данными регулярного мониторинга изучаемых объектов с расхождением, не превышающим 12 %; применением известных положений теории вероятностей и математической статистики при обработке результатов наблюдений и имитационного моделирования; применением методов теоретической механики и теории электропривода для установления реальных нагрузок и их эквивалентных значений; корректностью принятых допущений, расчетных схем и алгоритмов при обосновании методики расчета периодичности технического обслуживания.

Апробация работы. Результаты проведенных исследований доложены на 3 Всероссийских научно-практических конференциях, конференциях с международным участием, а также на расширенных заседаниях кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика».

Внедрение результатов исследований. Результаты исследования использовались ООО «Лифт Сервис» при проведении следующих мероприятий.

1. В регламентных работах по ТО лифтовых установок.
2. В работах по оценке и контролю остаточного ресурса силовых элементов на основе данных ежедневного мониторинга при техническом освидетельствовании пассажирских лифтовых установок.

Предложенная инженерная методика корректирования периодичности ТО на основе ИМ режимов нагруженности силовых элементов лифтовой установки успешно прошла испытания на предприятии ООО «Лифт Сервис» и подтвердила целесообразность ее применения.

Результаты исследований используются при чтении курса «Вертикальный транспорт» для студентов направления 08.03.01 «Строительство».

Личный вклад соискателя заключается в следующем: исследовал на натуральных образцах факторы, определяющие условия и режимы эксплуатации машин с канатной тягой; определил совокупность случайных воздействий и функции их распределения; принял непосредственное участие в разработке алгоритмов и программ ИМ; выполнил анализ результатов моделирования и установление основных зависимостей; обосновал взаимосвязи режимов и условий эксплуатации машин с канатной тягой и межремонтных сроков ТО; разработал инженерную методику корректировки межремонтных сроков.

Публикации результатов работы. По материалам диссертационной работы

опубликовано 7 статей в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ, одной статьи в журнале, индексируемого в наукометрической базе данных Scopus, 3 статьи по материалам докладов на различных конференциях. Получено свидетельство Государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, приложения в отдельном файле. Основная часть работы изложена на 150 страницах, содержит 58 рисунков, 55 таблиц, 5 приложений. Список литературы включает 118 наименований.

Автор выражает благодарность коллективу кафедры ЭТСиЛ и лично зав. кафедрой доктору техн. наук, профессору Короткому Анатолию Аркадьевичу за постоянную методическую помощь при выполнении диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель исследования, научные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическое значение работы.

В первой главе выполнен анализ состояния вопроса в области влияния условий работы и режимов эксплуатации машин с канатной тягой циклического действия на обеспечение их технического состояния и надежности, приведено обоснование задач исследования.

Научными основами исследования вертикального транспорта, в том числе машин с канатной тягой, оптимизацией параметров подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин занимались ведущие отечественные ученые: Баловнев, В.И., Вайнсон, А.И., Дукельский, А.И., Домбровский, Н.Г., Короткий, А.А., Котельников, В.С., Кудрявцев, Е.М., Куйбида, Г. Г. и ряд других. Наибольший интерес с учетом цели настоящей диссертации, представляют работы: Антоневица А.И., Архангельского, Г.Г., Бархаева, С.Ю., Витчука, П.В., Волкова Д.П., Горожева М.Ю., Лобова Н.А., Мечиева А.В., Овчинниковой, Ю.С., Суслова Д.А., Чутчикова П.И., Шпет Н.А. и др., которые посвящены исследованию динамики подъемников и лифтового оборудования, а также изучению и повышению их надежности и безопасности.

Машины с канатной тягой представляют собой обширный класс разнообразных устройств, главными отличительными признаками которых являются назначение, способ передачи канату тягового усилия и принцип действия. Для лифта любого конструктивного исполнения важнейшими остаются требования высокой надежности и безопасности, обеспечивающиеся необходимым техническим состоянием объектов. Это достигается соблюдением многих требований, важнейшим из которых является реализация обоснованной периодичности ТО во взаимосвязи с режимами и условиями эксплуатации.

Согласно информации Национального лифтового союза, в 2021 году в Российской Федерации насчитывалось более 527 тыс.

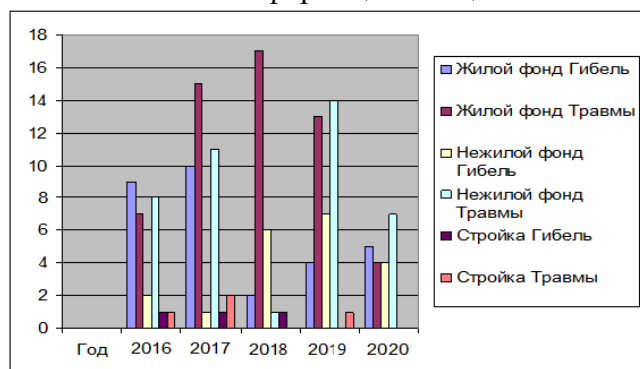


Рис.1.1 Статистика ЧП на пассажирских лифтах

чрезвычайных происшествий (ЧП) происходит именно в жилых домах. Обеспечение надежности функционирования пассажирских лифтов — сложная многоплановая задача, комплексное решение которой сформулировано в нормативных документах.

Лифт является одним из самых распространенных подъемно-транспортных устройств для перевозки пассажиров, к которому предъявляются весьма строгие требования по безопасности. Об этом свидетельствует Постановление Правительства РФ от 24 июня 2017 г. № 743. Кроме

лифтов, эксплуатируемых в жилом фонде и различных учреждениях. С каждым годом увеличивается количество новых многоэтажных строений по всей стране, что приводит к росту фонда лифтового оборудования.

Лифт относится к объектам повышенной опасности. За последние 5 лет произошло более 100 аварий на пассажирских лифтовых сооружениях (рис. 1.1). Как видно из диаграммы, основное количество

того, лифты должны соответствовать требованиям, установленным техническим регламентом Таможенного союза. В настоящее время периодичность ТО лифтового оборудования устанавливается исходя из основных документов: руководства по эксплуатации лифта и «Правил использования и содержания лифтов...» (рис. 1.2). И эта периодичность принята одинаковой для всех лифтовых комплексов.



Рис. 1.2 Документы, регламентирующие периодичность ТО лифтов

Несмотря на одинаковую этажность, идентичный тип и количество лифтов, аналогичные строения могут значительно отличаться по количеству жильцов, а также уровнем нагрузки и продолжительностью эксплуатации лифтового оборудования. Это оказывает существенное влияние на чистое время работы, эквивалентные нагрузки, испытываемые оборудованием, изменяет реальный темп

отработки ресурса, фактический срок службы каждого компонента лифтового оборудования.

Анализ состояния вопроса свидетельствует о необходимости решения задачи научного обоснования межремонтных интервалов ТО пассажирских лифтов как средства обеспечения и поддержания уровня его технической готовности. Задача по обоснованию периодичности ТО не имеет прямого аналитического решения, т.к. функционирование лифта происходит в режиме поциклового стохастического изменения внешних и внутренних воздействий. Вследствие этого временные и силовые показатели лифта представляют собой случайные величины с неизвестными законами распределения. Получение стохастических показателей может быть реализовано только на основе применения методов ИМ. Функционирование лифта в жилом доме с этажностью N происходит отдельными циклами. Каждый цикл состоит из периодов: 1) движения лифта без пассажиров с этажа стояния L на уровень ожидания пассажирами – этаж M ; 2) движения с пассажирами с уровня M на этаж назначения S ; 3) пауза длительностью Δ .

Величины L , M и S являются случайными целочисленными переменными, принимающими значения в диапазонах: при движении лифта вниз на первый этаж (цикл А) – $1 \leq L \leq N$; $2 \leq M \leq N$; $S=1$; при движении лифта вверх с первого этажа (цикл Б) $M=1$ на этаж назначения S , $2 \leq L \leq N$; $2 \leq S \leq N$. Внутри каждого из периодов 1 и 2 имеют место промежуточные R_{ni} и конечные R_{ki} остановки, на каждой из которых происходит включение (торможение) ГП, число которых в каждом цикле равно n_i , а также открывание – закрывание дверей. После завершения периодов 1 и 2 наступает случайное время паузы Δ_i до начала очередного цикла. Величина Δ_i является непрерывной случайной величиной, зависящей, прежде всего, от фактического пассажиропотока.

На основе производственных наблюдений имеют место в большинстве случаев циклы – А, Б и А+Б (рис.1.3). Реальное чередование циклов представляет собой случайный процесс.

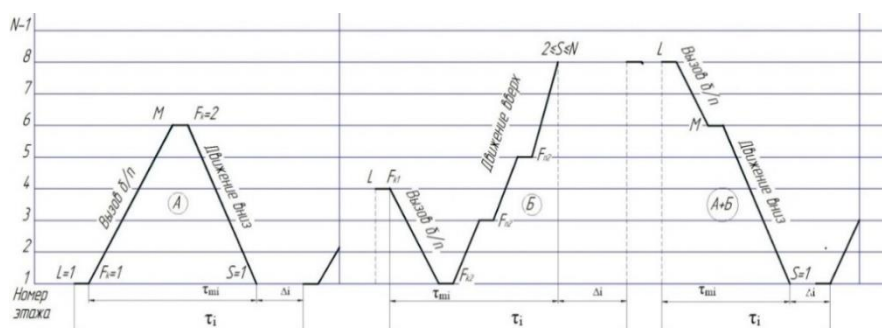


Рис.1.3 Кинематическая структура циклов

Для описания вероятностного процесса функционирования лифта, например, путем ИМ, необходимо располагать следующими исходными данными:

1) постоянными условиями эксплуатации: этажность дома – N ; расстояние между этажами – $h_{эт}$, м; средняя скорость

движения лифтовой кабины – v , м/с; грузоподъемность лифта, выраженная максимальным числом пассажиров – R ; сведениями о заселенности дома: число жильцов Z , квартир M_k ;

2) распределениями случайных величин: Δ ; числа пассажиров r , входящих в лифт или уровня загрузки кабины γ ; L , M , S ; числа промежуточных остановок R_n .

Для достижения цели настоящей работы необходимо решить следующие задачи.

1. Выполнить описание объекта исследования – пассажирского лифта – как системы, работающей в циклическом режиме и подвергающейся случайным внешним воздействиям.
2. Обосновать математические модели поциклового формирования силовых воздействий на привод и распределения случайных воздействий, влияющих на временные характеристики режима работы пассажирских лифтов.
3. Разработать алгоритмы и программы ИМ влияния условий и режимов эксплуатации пассажирских лифтов, на показатели их технического состояния.
4. Выполнить оценку адекватности и анализ результатов ИМ, построить обобщенные зависимости влияния условий и режимов эксплуатации на показатели технического состояния пассажирских лифтовых установок.
5. Разработать инженерную методику формирования сроков межремонтных воздействий при эксплуатации пассажирских лифтов.

Во второй главе приводятся полученные на основе статистической обработки данных регулярных наблюдений основные показатели режимов работы лифтовых установок, а также установленные зависимости показателей от характеристик лифтов и условий их эксплуатации. Исследования использованы при оценке адекватности результатов последующего ИМ, а также обосновании ряда базовых соотношений.

Исследования производилось путем обработки статистических данных, полученных от службы диспетчерского контроля ООО «Лифт-Сервис» по одиннадцати действующим лифтам в 5 жилых домах, имеющих от 9 до 14 этажей и различное количество подъездов. Полученные исходные данные отражают время работы ГП каждого лифта (t_m), а также количество включений в течение каждого календарного часа (n_0) на протяжении 7,5 суток.

При обработке статистических данных определены: средние значения $K_{m,ср}$ и $n_{ср}$, средние квадратические отклонения σ_{K_m} , σ_n , абсолютные Ош и относительные $\overline{O_{ш}}$ ошибки $K_{m,ср}$ и $n_{ср}$, доверительные интервалы, функции распределения случайных величин K_m и n .

Обработка данных показала, что средние КМВ значительно различаются у лифтов, эксплуатируемых в домах с одинаковой этажностью. Так, лифт 9-ти этажного дома по адресу Орбитальная, 68 имеет максимальный $K_{m,ср,макс} = 0,2$, а лифт дома по адресу Капустина, 14 $K_{m,ср,мин} = 0,047$. При этом средние значения n имеют обратное соотношение: Орбитальная, 68 – 2,6, Капустина, 14 – 3,37 1/(мин.ЧМВ).

Построение функций распределения и доверительных интервалов для средних значений случайных величин K_m и n , входило в программу исследований в целях последующего сопоставления с результатами ИМ. Абсолютная ошибка среднего значения $K_{m,ср} - O_{ш_{K_m}}$ в предположении, что распределение генеральной совокупности случайной величины K_m подчиняется нормальному закону, определялись по известному соотношению

$$O_{ш_{K_m}} = \frac{K_{\sigma} \cdot f(\beta)}{\sqrt{M_{\Sigma}}}$$

где K_{σ} – коэффициент вариации выборки экспериментальных данных, M_{Σ} – число независимых наблюдений. Величина $f(\beta)$ вычислялась по аналитическим значениям обратной функции Лапласа, для диапазона доверительной вероятности $0,8 \leq \beta \leq 0,95$.

По известной абсолютной ошибке определен доверительный интервал для K_m : $(K_{m,ср} - O_{ш}) \leq K_m \leq (K_{m,ср} + O_{ш})$ при $\beta = 0,8$. Попадание случайных величин $K_{m,ср,ИМ}$ и $n_{ср,ИМ}$ в границы доверительного интервала является дополнительным основанием оценки адекватности результатов ИМ в сравнении с данными мониторинга.

Анализ полной суточной статистической совокупности значений K_m реальных лифтовых установок показал, что они отличаются высоким значением коэффициента вариации – 0,4...0,9. Это свидетельствует о значительных отклонениях совокупности наблюдаемых значений от нормального закона распределения. Для таких выборок случайной величины обоснованное определение ошибки средних значений и соответствующего доверительного интервала не представляется возможным.

Установлено, что причиной «искажения» нормального закона распределения явилось

существенное расхождение распределений K_m в ночное время и остальные отрезки суток. Поэтому во втором этапе исследований данные регулярного мониторинга обрабатывались отдельно для ночного времени и остального времени суток (рис.2.1).

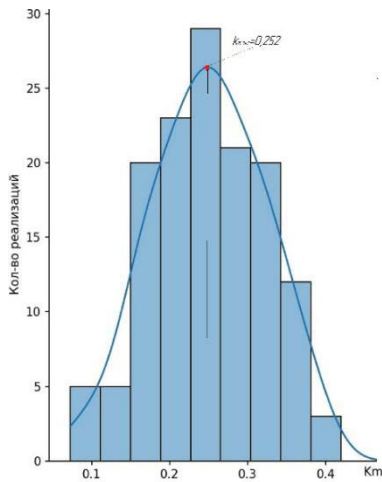


Рис.2.1 Плотность распределения K_m в течение суток без учета ночного времени (Орбитальная, 68)

Анализ результатов диспетчерских записей временных показателей работы лифта и теоретической гипотезы об относительной продолжительности машинного цикла свидетельствуют о том, что КМВ зависит от следующих основных факторов: этажности дома N_i ; числа пассажиров, пользующихся лифтом Z_{0i} ; средней скорости движения v_i .

На графике (рис. 2.2) видно, что $K_{mэ}$ имеет линейную зависимость от числа жителей Z ; при увеличении скорости движения кабины v , K_m снижается. Построена математическая модель среднего значения КМВ

$$K_{mi} = \alpha_{m1} \cdot Z_i \left(1 - \frac{M_{k1i}}{M_{ki}}\right) \cdot \Phi\left(\frac{v_1}{v_i}\right), \quad (2.1)$$

где $i=1, 2, 3$ и т.д. определяет номер прямой с фиксированным значением средней скорости движения кабины v_i , вдоль которой концентрируются значения K_{mi} в зависимости от числа жителей дома (подъезда), пользующихся лифтом; α_{m1} – угловой коэффициент базовой зависимости $K_{m1} = \alpha_{m1} \cdot Z_0$; Z_{0i} – число жителей дома (подъезда), пользующихся лифтом; определяется по выражению

$$Z_{0i} = Z_i \left(1 - \frac{M_{k1i}}{M_{ki}}\right), \quad (2.2)$$

$\Phi\left(\frac{v_1}{v_i}\right)$ – линейная функция, учитывающая

влияние соотношения наименьшей скорости $v_1=0,65$, м/с к реальной скорости лифта; M_k, M_{k1} – число квартир общее; число квартир, жильцы которых не пользуются лифтом

$$\Phi\left(\frac{v_1}{v_i}\right) = 1,22 - 0,22 \frac{v_1}{v_i} \quad (2.3)$$

Уравнение (2.1) с учетом соотношений (2.2) и (2.3) принимает вид:

$$K_{mi} = \frac{\alpha_{m1}}{\lambda_H} \cdot Z_i \left(1 - \frac{M_{k1i}}{M_{ki}}\right) \cdot \left(1,22 - 0,22 \frac{v_{cp}}{v_i}\right) \quad (2.4)$$

Соотношение (2.4) учитывает влияние на КМВ только двух факторов: Z_0 и v_i . Этажность жилого дома N непосредственно в формулу не входит, что ограничивает ее применение. Для получения эмпирической зависимости $K_m=f(N, v_{cp}, Z_0)$ использован другой подход, согласно которому Z_0 пропорционально этажности дома N . Доказана также адекватность математической модели (2.5). В скобках дается выражение так называемого удельного коэффициента машинного времени, приходящегося на 100 человек, проживающих в жилом доме.

$$K_{mi} = \frac{Z_{0i}}{100} \cdot \left(0,0004 + \frac{0,0028N}{v_{cpi} - 0,358}\right) \quad (2.5)$$

Оценка сходимости результатов расчетов по формулам (2.4) и (2.5) – $K_{mрасч}$ в сравнении с данными диспетчерских записей – $K_{m.эсп}$ показала, что отклонения не превышают 12 %.

Влияние числа жителей, пользующихся лифтом Z_0 (50..300 чел.) и средней скорости кабины v (0,6...2, м/с) приведено на рис.2.3. Как следует из этих зависимостей, при увеличении v практически пропорционально снижается КМВ. С увеличением заселенности дома КМВ пропорционально увеличивается.

Таким образом, в широком диапазоне влияющих факторов математические модели (2.4) и (2.5) обеспечивает получение результатов, адекватных экспериментальным значениям, и позволяет прогнозировать значения КМВ при изменении трех важнейших факторов, от которых

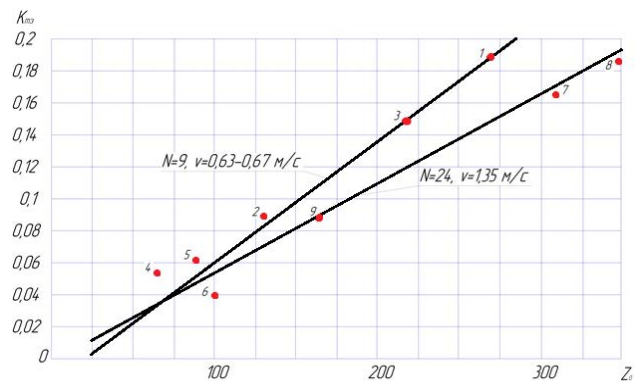


Рис.2.2 Зависимости K_m от числа жителей, пользующихся лифтом

плотности в диапазоне $2 \leq M_i \leq N$. В вечернем режиме по такому же закону генерируется в цикле типа Б - S_i и M_i , а этаж стояния $L_i=1$.

Случайное значение загрузки кабины моделируется дискретными значениями r_i в интервале $1 \leq r_i \leq R$. Ряд распределения $P(r)$ принимается по данным реальных наблюдений.

При ИМ случайной последовательности циклов независимой случайной величиной принята Δ , которая как элемент системы массового обслуживания, моделируется по экспоненциальному закону со средним значением Δ_{cp} .

Очевидно, что для ИМ случайной величины Δ_i необходимо для заданных условий, параметров и режима работы лифта устанавливать значение Δ_{cp} . Для обоснования математической модели Δ_{cp} использованы соотношения ее с другими элементами цикла и результаты обработки данных регулярного мониторинга (глава 2). Величина Δ_{cp} связана с остальными элементами цикла соотношением $\Delta_{cp} = \tau_{cp} - \tau_{mcp} - \tau_{пзcp}$, Продолжительность цикла выражается через ЧМВ и K_{mo} . Тогда

$$\Delta_{cp} = \frac{\tau_{mcp}}{K_{mo}} - \tau_{mcp} - \tau_{пзcp} = \tau_{mcp} \cdot \left(\frac{1}{K_{mo}} - 1 \right) - \tau_{пзcp} \quad (3.1)$$

Величина τ_{mcp} определяется через среднее число $K_{пр}$ и скорость кабины v_{cp} . Средний K_{mo} известен по результатам обработки данных регулярного мониторинга – формула (2.3). Тогда выражение (3.1) принимает вид

$$\Delta_{cp} = \frac{K_{пр} h_{эт}}{60 v_{cp}} \left[\frac{1}{\frac{z_0}{100} (0,0004 + \frac{0,0028N}{v_{cp}-0,358})} - 1 \right] - \frac{F \cdot T_{пз}}{60} \quad (3.2)$$

Из формулы (3.2) следует, что для нахождения Δ_{cp} необходимо определить среднее $K_{пр}$ для всех видов циклов. Для этого детализован порядок перемещений лифта при различных направлениях движения и определены статистические подходы к расчету значений $K_{пр}$.

Рассмотрим в качестве исходного цикл А, характерный для утреннего времени: движение пассажиров производится с произвольного этажа M вниз до этажа $S=1$ без промежуточных остановок. При этом каждый цикл начинается со стояния лифта на этаже, $L=1$, а M находится в диапазоне $2 \leq M \leq N$. Цикл работы лифта происходит в два этапа: 1) движение лифта по вызову с этажа $L=1$ до произвольного этажа $2 \leq M \leq N$. Т.к. случайная величина M распределена априори по закону равномерной плотности, то среднее $K_{пр1} = (1/2) \cdot N$; 2) движение лифта с этажа M на первый этаж; очевидно, что по аналогии с этапом 1), среднее $K_{пр2} = (1/2) \cdot N$. Тогда общее среднее количество пролетов за цикл равно $K_{прА} = K_{пр1} + K_{пр2} = N$. Для цикла Б среднее количество пролетов определяется аналогично. Получено также выражение для $K_{прА+Б}$.

Обязательным показателем работы лифта для формирования удельного числа включений ГП является случайное количество промежуточных остановок при движении лифта вверх с первого этажа. Эта задача является самостоятельной частью общей теории формирования режима нагружения лифта наряду с ЧМВ и силовыми воздействиями.

Постановка задачи: необходимо аналитически построить ряд распределения дискретной случайной величины b_k – возможного случайного числа вариантов остановок данного k -го вида, которые может совершать лифт за один цикл с числом пассажиров r : $1 \leq r \leq R$. Величина b_k может принимать значения $b_{k0}, b_{k1}, \dots, b_{k,r-1}$. Каждое значение b_k относится к соответствующему числу вариантов промежуточных остановок данного вида; далее число видов остановок обозначим G_k . Число остановок лифта на отрезке пути $(2, S)$ является случайным и может быть различным, но есть ограничения: число остановок в цикле B не может превышать r ($B \leq r$) – условие (а) и числа пролетов $K_{пр}$ ($B \leq S-1$) – условие (б). В каждом конкретном случае может быть реализовано одно из неравенств так, что возможное число остановок принимается минимальным из этих двух условий. При $r = 1, 2, \dots, R$, возможна реализация различного числа G_k . При этом, если выполняются условие (а) или (б), то возможное число G_k , не включая конечную, будет выбираться случайным образом из вариантов: а) если $r \leq S-1$, то $G_k = 1, 2, \dots, r-1$; б) если $r > S-1$, то $G_k = 1, 2, \dots, S-2$.

Приходим к заключению: количество остановок каждого вида представляют собой число сочетаний C вида остановок G_k из числа пролетов $(S-2)$ или числа пассажиров $(r-1)$, на которых

этот вид остановок может быть реализован. Т.е. получено базовое соотношение для построения ряда распределения случайной величины bk_j .

$$bk_j = C_{S-2}^{Gk} = \frac{(S-2)!}{Gk!(S-2-Gk)!} \quad (3.3)$$

Вероятность каждой из реализаций bk_j равна отношению $p_{bk_j} = \frac{bk_j}{B}$. Например, если $N=9, R=5, r=4, S=8$. Выполняется условие (а), тогда $Gk=0,1,2,\dots,r-1=0,1,2,3$. Тогда в соответствии с (3.3): $bk_0 = 1; bk_1 = 6; bk_2 = 15; bk_3 = 20; B = \sum_{j=0}^3 bk_j = 42; P_{bk_0}=0,024; P_{bk_1}=0,143; P_{bk_2}=0,357; P_{bk_3}=0,476; \sum P_{bk}=1$

При ИМ случайное число промежуточных остановок J определяется на основе генерирования полученного ряда распределения $Gk_j = f(P_{bk_j})$.

Для проверки адекватности математических моделей, определения показателей продолжительности работы лифтовых установок проведено сравнение экспериментальных данных, с расчетными значениями КМВ и числа включений ГП лифта. Для выполнения расчетов выполнено поцикловое ИМ работы 11 лифтовых установок. С этой целью на основе структурной схемы 3.1 разработан поэтапный алгоритм решения задачи ИМ выполнено с использованием разработанной компьютерной программы «Имитационное моделирование режимных характеристик пассажирского лифта». Программа написана на языке Python. На программу получено государственное свидетельство о регистрации.

Сравнение результатов посуточного моделирования с экспериментальными данными, подтвердило адекватность полученных результатов. Отклонение средних расчетных значений K_m и n от аналогичных данных мониторинга в большинстве случаев не превышает 12%. Для всех моделей лифтов полученные в результате ИМ средние значения находятся внутри доверительных интервалов при $\beta=0,8$.

В соответствии с задачами настоящей работы выполнены исследования влияния основных факторов на временные показатели лифтов путем установления зависимостей КМВ и числа включений от постоянных характеристик зданий и лифтовых установок. С этой целью проведено поцикловое моделирование с разделением ИМ на серии опытов, предусматривающих изменение одного фактора из числа исходных данных, с постоянными значениями всех остальных. В качестве исходных данных, аналогично ИМ с целью проверки адекватности, выбираются параметры, относящиеся к жилым домам и лифтовым установкам, а также задаются условия распределения видов циклов ($\gamma_A, \gamma_B, \gamma_{A+B}$ – относительная средняя доля числа циклов вида А, Б, А+Б); $P(r)$ – ряд распределения числа пассажиров, входящих в лифт на этаже вызова. Базовыми для всех вариантов приняты параметры: $N=16; h=3м; M_{эт}=5$ -квартир на этаже; $M_1=5$ - квартир в доме, жители которых не пользуются лифтом; $m_{кв}=5$ чел., проживающих в квартире; $R=5$ чел.; $v=1м/с$; $\gamma_A, \gamma_B, \gamma_{A+B}=0,4; 0,4; 0,2; r_{ср}=2,13$ чел.

Проведено 6 серий опытов, в каждой из которых устанавливались по 2 однофакторные зависимости K_m и n от $N, Z, R, v, \gamma_{A,B,A+B}$ и $r_{ср}$.

В результате ИМ (рис. 3.2) установлено, что основными параметрами жилых домов, оказывающими влияние на величину КМВ и число включений, являются: этажность дома N , скорость лифта v и количество жильцов Z .

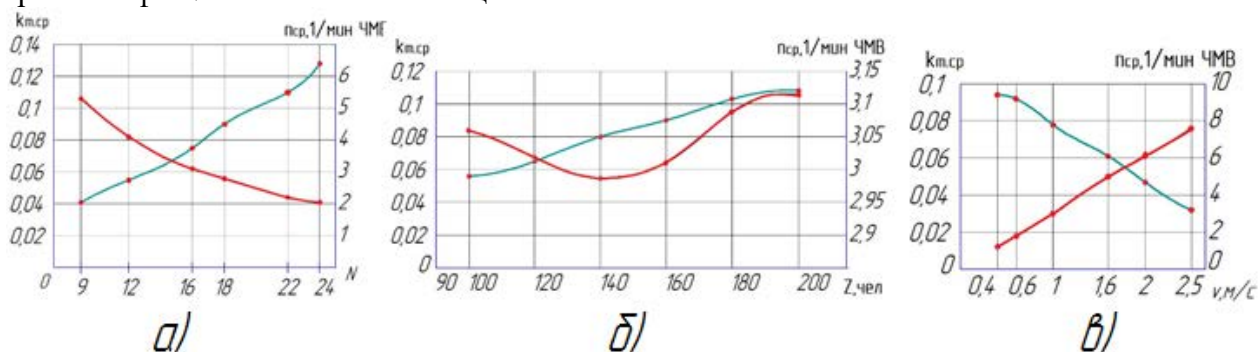


Рисунок 3.2. Зависимости средних значений КМВ (синий) и числа включений ГП (красный) от: а) этажности домов; б) количества жильцов, приходящегося на один лифт; в) расчетной скорости движения лифта

В результате исследований имитационных моделей установлено:

- коэффициент машинного времени K_m линейно зависит от этажности жилого дома N , числа жителей, пользующихся подъемником Z_0 , и средней скорости кабины v , причем с увеличением высоты дома и числа жителей – возрастает, с увеличением скорости – уменьшается; эти закономерности соответствуют соотношениям, полученным в результате анализа экспериментальных данных (глава 2);

- КМВ практически не зависит от грузоподъемности лифта, соотношения числа циклов различного вида и уровня средней поцикловой загрузки кабины;

- частота включений ГП n уменьшается линейно с ростом этажности дома и возрастает с увеличением средней скорости кабины; этот показатель остается практически постоянным с изменением Z_0 , R , распределения числа циклов различного вида и r_{cp} .

В четвертой главе выполнена разработка математической и имитационной моделей для

оценки влияния условий и режимов эксплуатации лифтов на уровень силового воздействия.

Выполнены постановка и поэтапное исследование процессов функционирования лифта в динамике. Общая процедура решения задачи методом ИМ силовых процессов, представлена структурно-логической схемой (рис. 4.1), имитирующей случайный маршрут перемещения кабины лифта за один цикл с учетом этажей M , L (операторы 2; 5) и S (8), а также γ (6). В зависимости от направления перемещения кабины и величины γ определяется число остановок при движении вниз B_n и вверх B_v . Далее на основе вычисления приведенного к валу двигателя момента инерции системы $J_{пр}$, статического момента на входе ΣM_c и известной механической характеристики двигателя $M_{дв}(\omega)$ производится расчет по уравнению динамики расстояния перемещения h , времени движения t_b и эквивалентной нагрузки $M_{эКВ}$ (4; 7).

Как показано в 3 главе, в качестве уровня силового нагружения ГП и соединенных с ним

узлов, принят эквивалентный момент на валу двигателя за длительный (например, суточный) период эксплуатации $M_{эКВ}$. При этом наиболее информативным является значение $\lambda_{эКВ}$ – отношение $M_{эКВ}/M_{дв.ном}$. Это позволило сопоставлять уровни силовой нагрузки лифтов различного типоразмера и этажности. Обозначения: ΣM_{c1} , ΣM_{c2} – средние суммарные статические моменты за цикл при движении кабины лифта вниз (индекс 1) и вверх (индекс 2), приведенные к валу двигателя, Н·м; $Q_{пасп}$, Q_k , $Q_{п-}$ – паспортная грузоподъемность кабины, масса кабины, масса противовеса, кг; $i_{ред}$, η_p – характеристики редуктора – передаточное отношение, КПД; q_k , n_k – характеристики канатов – погонная масса одного каната, кг/м, число канатов; r_k – радиус КВШ, м; ω' – коэффициент сопротивления движению кабины, противовеса; \mathcal{E}_1 , \mathcal{E}_2 – начальный этаж расположения лифта: 1 – при спуске, 2 – при подъеме кабины; $h_{эт}$ – междуэтажная высота, м;

Для установления зависимости нагрузок, действующих на лифт от случайных величин и параметров в процессе ИМ, выведены универсальные соотношения для расчета средних статических моментов нагрузки на валу двигателя за цикл при спуске (ΣM_{c1}) и подъеме (ΣM_{c2}) кабины лифта.

$$\Sigma M_{c1} = \frac{r_k}{i_{ред} \cdot \eta_p} \{Q_{п}(1 + \omega') - Q_{пасп} \cdot (\gamma_1 - \omega') - Q_k(1 - \omega') + q_k \cdot n_k \cdot h_{эт} [2(\mathcal{E}_{1c} - 1) - N]\} g, H,$$

$$\Sigma M_{c2} = \frac{r_k}{i_{ред} \cdot \eta_p} \{Q_{пасп}(\gamma_2 + \omega') + Q_k(1 + \omega') - Q_{п} \cdot (1 - \omega') + q_k \cdot n_k \cdot h_{эт} [N - 2(\mathcal{E}_{1п} - 1)]\} g, H$$

Для каждого из этих этапов предварительно случайным образом генерируется уровень загрузки кабины γ_1 или γ_2 и номер этажа $\mathcal{E}_{1п}$ или \mathcal{E}_{1c} , с которого начинается движение кабины

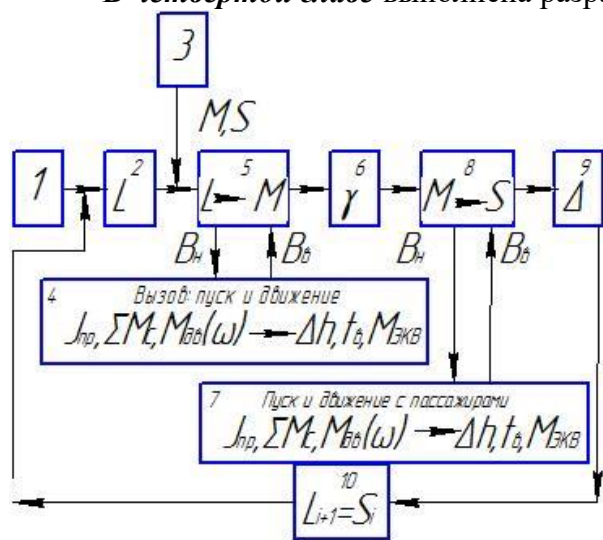


Рис.4.1 Структурно-логическая схема решения задачи силового воздействия: 1- исходные параметры системы; 3 - моделирование маршрута L–M–S; 9 – моделирование и реализация случайной длительности ожидания очередной заявки, Δ; 10 – переход к следующему циклу

вверх или вниз. Рассматривается схема пассажирского лифта с приводом от асинхронного короткозамкнутого двигателя мощностью длительного режима N , кВт, синхронной угловой скоростью ω_0 , 1/с, номинальным моментом $M_{дв.ном}$, Н·м, номинальным $S_{ном}$ и критическим $S_{кр}$ скольжением, пусковым моментом $M_{пуск}$, Н·м.

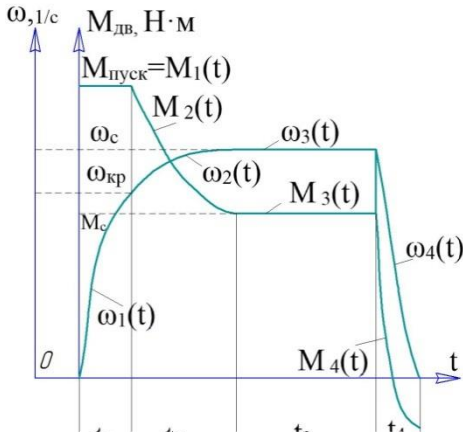


Рис. 4.2. Качественная картина изменения угловой скорости $\omega(t)$ и момента на валу двигателя $M_{дв}(t)$ по периодам движения лифта 1...4

Искомые временные показатели работы и динамические характеристики определяются в результате решения дифференциального уравнения.

Используя известное правило механики, получено соотношение для расчета приведенного момента инерции системы:

$$J_{пр} = J_{дв} K_{вр} + [Q_k + Q_n + Q_{пасп} \cdot \gamma_i + q_{тк} \cdot n_k \cdot N \cdot h_{эт}] \frac{r^2}{i_{ред}^2},$$

где $K_{вр}$ – коэффициент, учитывающий вращающиеся массы редуктора и КВШ.

Процесс работы лифтовой установки разделен на 4 этапа (рис. 4.2). На основе решения уравнения динамики по этапам $j = 1 \dots 4$, получены выражения для расчета времени t_j пути перемещения h_j и относительного момента $\lambda_{двj}$.

Программа силового ИМ работы лифтов разработана с учетом влияния основных факторов на уровень нагрузки

$\lambda_{ун} = M_{эkv} / M_{ном}$: этажность дома N ; временной период работы лифта в сутки, режимы во времени утренний, дневной, вечерний (U,D,V); пассажиропоток, оцениваемый $\gamma_{ср}$ и $\Delta_{ср}$.

Основной объем ИМ силовых процессов выполнен в двух вариантах:

- 1) суточное моделирование в базовых условиях, адекватных средним значениям влияющих факторов, установленных по данным диспетчерских наблюдений;
- 2) специальная серия имитационных исследований для установления качественных зависимостей $\lambda_{эkv}$ от основных влияющих факторов.

Целью имитационных исследований первого варианта является оценка уровня силовых воздействий для базовых лифтов жилых дома высотой 9, 16 и 22 этажа. ИМ динамики лифта производилось с использованием разработанной программы для ЭВМ..

На основе структурной схемы (рис. 4.1) разработан алгоритм ИМ эквивалентной нагрузки i -го цикла работы лифта. Алгоритм позволяет определить относительную нагрузку, испытываемую приводом лифта с учетом случайных факторов, определяющих траекторию движения кабины и величину её загрузки.

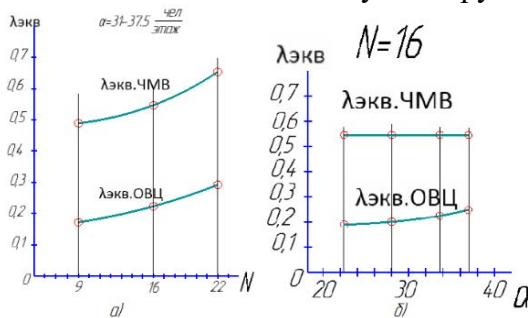


Рисунок 4.3 Зависимости эквивалентных нагрузок за чистое машинное время $\lambda_{эkv.ЧМВ}$ и общее время цикла $\lambda_{эkv.ОБЦ}$ от: а) этажности дома N при уровне заселенности $\alpha = 31-37,5$ чел/этаж; б) уровня заселенности α при этажности $N = 16$

Исследования имитационных моделей показали, что относительные эквивалентные нагрузки на валу двигателя за ЧМВ существенно увеличиваются с ростом этажности дома (рис. 4.3). Для каждого отдельного лифта $\lambda_{эkv.ЧМВ}$ практически не зависят от времени суток, числа жителей, пользующихся лифтом, уровня загрузки кабины и характеризуются стабильной величиной. Относительные эквивалентные нагрузки за полное время цикла уменьшаются с ростом продолжительности цикла.

Разработанная методика определения эквивалентных нагрузок $\lambda_{эkv}$ на основе специальной программы ИМ является составной частью процедур

при установлении комплексного показателя технического состояния лифта при прогнозировании периодичности ТО.

В пятой главе на основе исследования комплексных оценок технического состояния пассажирских лифтовых установок обоснованы общие подходы и инженерная методика

определения требуемой периодичности ТО.

Анализ отечественных и зарубежных публикаций показал, что предлагаемые фундаментальные методы рассматривают построение моделей оптимального ТО, в которых в качестве критерия принимается конечная эффективность системы. Известные аналитические решения базируются на представлении о конкретной функции эволюции технического состояния системы в процессе эксплуатации. Требуется формализованное представление о поведении технической системы во времени, описываемое случайной функцией. Для лифтовых установок такая информация в настоящее время является практически недоступной.

В качестве альтернативы прямому использованию показателей технического состояния объекта для определения периодичности ТО в настоящей работе применена гипотеза о взаимосвязи нормативных ресурсных показателей отдельных узлов и машины в целом с характеристиками режимов и условиями их эксплуатации, полученных на основе ИМ (главы 3 и 4).

С учетом этой взаимосвязи разработана методика корректирования нормативной периодичности ТО базовых узлов лифтовой установки.

Исходными данными для решения задачи косвенным способом являются следующие:

- 1) объект: лифтовая установка с известными параметрами;
- 2) временные показатели установки и жилого дома, которые определяют условия и режим работы: K_m ; n ; $\lambda_{эжв}$; степень отработки ресурса к моменту корректировки периодичности ТО;
- 3) установленные нормативными документами, назначенные ресурсные показатели: сроки службы установки в целом и ее основных узлов до наступления контрольных оценок обследования технического состояния объекта, измеренные календарным временем; то же – часами ЧМВ и количеством циклов нагружений;
- 4) установленная нормативными показателями или руководством по эксплуатации плановая периодичность ТО.

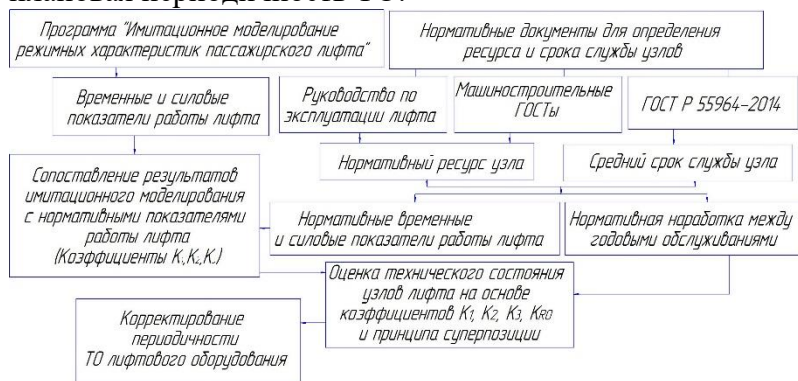


Рис.5.1 Структурная схема определения скорректированной периодичности ТО лифтового оборудования (обозначения коэффициентов K_1 , K_2 , K_3 , $K_{эжв}$ приведены ниже)

Общая структурная схема корректировки периодичности ТО представлена на рис.5.1

Нормативное среднее значение $K_{т.ср.норм}$ и $P_{ср.норм}$ определены исходя из ресурсов узлов лифтовых установок, определенных заводами-изготовителями и государственными стандартами (ГОСТ 31592-2012; ГОСТ 31606-2012), а также среднего срока службы каждого из рассматриваемых узлов лифта, которые приведены в ГОСТ Р 55964-

2014; номинальный момент двигателя лифта $M_{ном}$ принимается для каждого конкретного лифта из паспорта двигателя.

Зная продолжительность работы и количество включений лифтового оборудования на основе данных службы диспетчерского контроля для эксплуатируемых лифтов или – результатов ИМ с использованием разработанной программы «Имитационное моделирование режимных характеристик пассажирского лифта» для объектов, вводимых в эксплуатацию, производится сравнение годовой реальной наработки конкретного оборудования и средней нормативной наработки. По этим данным делается предварительное заключение о необходимости корректировки нормативной периодичности ТО.

Результатом сопоставления показателей работы лифта, полученных путем ИМ, с нормативными значениями выступают коэффициенты, отражающие уровень нагрузки на конкретный узел лифта и определяемые как отношения временных и силовых показателей, полученных в результате ИМ, к нормативным значениям:

$$K_1 = \frac{K_{т.ср.мод}}{K_{т.ср.норм}}; K_2 = \frac{n_{ср.мод}}{n_{ср.норм}}; K_3 = \frac{M_{экв}}{M_{ном}}; K_{RO} = \frac{P_{отр.р}}{P_{норм.р}}$$

На основе полученных корректирующих коэффициентов K_1 , K_2 , K_3 и исходя из израсходованного ресурса K_{RO} , определяется единый условный индекс нагруженности лифта

$$W_{\Sigma} = K_1 + K_2 + K_3 + K_{RO}. \quad (5.1)$$

При формировании единого обобщенного показателя используется, по аналогии с рекомендациями современной квалиметрии, принцип суперпозиции с весовыми коэффициентами, равными или близкими к единице. Использовано допущение, что применительно к решению данной задачи, перечисленные 4 фактора, являются независимыми и оказывающими примерно равное воздействие на конечный результат. Этот результат должен рассматриваться по принципу: чем меньше значение W_{Σ} , тем менее напряженным является режим эксплуатации данной лифтовой установки. По методике суммирования показателей технического уровня нормальным не перегруженным техническим состоянием узла лифта, в общем случае, нужно считать такое, при котором сумма коэффициентов не превышает 4-х единиц.

Для примера ниже сделан расчет корректирующих коэффициентов и единого условного индекса нагруженности редуктора лифтовой установки 9-этажного дома по адресу Орбитальная, 68, г. Ростов-на-Дону по (5.1):

$$K_{1,ред} = \frac{K_{т.ср.мод}}{K_{т.ср.норм}} = 2,07; \quad K_{2,ред} = \frac{n_{ср.мод}}{n_{ср.норм}} = 1,455; \quad K_{3,ред} = \frac{M_{экв} \cdot i_{редуктор}}{M_{ном.редуктор}} = 0,194.$$

$$K_{RO,ред} = \frac{P_{отр.р}}{P_{норм.р}} = \frac{5(\text{лет})}{12,5(\text{лет})} = 0,4; \quad W_{\Sigma,ред} = K_1 + K_2 + K_3 + K_{RO} = 4,12$$

Отношение $KТО = W_{\Sigma,расч} / W_{\Sigma,норм}$ представляет собой коэффициент корректировки нормативной периодичности ТО. При $0,95 \leq KТО \leq 1,05$ – корректировка не требуется. Скорректированная периодичность ТО определяется как отношение

$$ТО_{кор} = \frac{ТО_{норм}}{KТО}, \quad (5.2)$$

где $ТО_{норм}$ – нормативная периодичность ТО, мес.

Из (5.2) следует: при $KТО < 1$ – корректирование периодичности ТО необходимо производить в сторону увеличения, при $KТО > 1$ – в сторону снижения. Для условий данного примера $KТО = 1,03$, поэтому корректировка не требуется.

По мере отработки ресурса при сохранении величины временных и силовых показателей периодичность ТО будет сокращаться для обеспечения необходимого уровня технического состояния оборудования.

Разработанные программы ИМ режимов работы пассажирских лифтов и инженерная методика корректировки периодичности ТО позволяет спрогнозировать реальную нагруженность узлов лифтовых установок на протяжении длительного периода эксплуатации с учетом их этажности, уровня заселенности и технических характеристик лифта.

Это дает возможность установить прогнозную скорость отработки нормативного ресурса индивидуально каждой лифтовой установки и определить для нее между сервисные интервалы, обеспечивающие поддержания узлов лифта в работоспособном состоянии на протяжении всего срока службы оборудования.

Основные результаты и выводы по работе

В диссертационной работе решена научно-техническая задача, состоящая в обосновании требуемой периодичности ТО машин с канатной тягой циклического действия и их силовых узлов с учетом условий и режимов эксплуатации на основе исследования и установления комплексных оценок (параметров) технического состояния (исследования проводились на примере пассажирских лифтов).

Основные выводы и результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Выполнено описание объекта исследования как системы, работающей в циклическом режиме и подвергающейся случайным внешним воздействиям; идентифицирована

совокупность случайных факторов, воздействующих на ГП установки с канатной тягой циклического принципа действия.

2. Обоснованы математические модели распределения случайных воздействий, влияющих на временные характеристики и силовые нагрузки привода машин с канатной тягой циклического действия (на примере пассажирских лифтов): траектория движения в цикле; число пассажиров или нагрузка в кабине случайного рейса; номера этажей ожидания, вызова и назначения; количество промежуточных остановок в период цикла; чистое машинное время, общая продолжительности и длительность ожидания очередного цикла.

3. Разработаны алгоритмы и программы ИМ формирования временных и силовых показателей, влияния важнейших факторов, в частности, условий и режимов эксплуатации машин с канатной тягой, на величину эквивалентных нагрузок, а также на временные характеристики режимов работы привода машин с канатной тягой циклического действия – коэффициент чистого машинного времени и удельное число включений привода.

4. Выполнена оценка адекватности результатов ИМ в сравнении с обобщенными данными экспериментальных наблюдений. Относительная ошибка не превышает 12 процентов.

5. Произведен анализ результатов ИМ; построены обобщенные зависимости влияния условий и режимов эксплуатации на показатели функционирования машин с канатной тягой, в частности, пассажирских лифтовых установок.

6. Сформированы методические подходы к обоснованию периодичности технического обслуживания машин с канатной тягой циклического действия, в том числе лифтового оборудования, во взаимосвязи с реальными условиями и режимами их нагружения, обеспечивающие необходимый уровень технического состояния машин. На этой основе разработана инженерная методика формирования сроков межремонтных воздействий для машин с канатной тягой циклического действия (на примере пассажирских лифтовых установок).

7. Методика позволяет на стадиях проектирования и эксплуатации лифтов жилых домов при расчете периодичности технических обслуживаний учесть параметры жилого дома, лифтовой установки и основные режимные факторы, от которых зависит уровень загруженности ГП и основных узлов. Использование разработанной методики обеспечивает снижение затрат на обслуживание лифтовых установок при обеспечении необходимого уровня технического состояния пассажирских лифтов.

8. Инженерная методика корректировки периодичности технического обслуживания лифтовых установок применена ООО «Лифт Сервис» (г. Ростов-на-Дону) при оценке и контроле остаточного ресурса силовых элементов лифтов на основе данных ежедневного мониторинга в период технического освидетельствования пассажирских лифтов.

Результаты исследования используются при подготовке бакалавров и специалистов в Донском государственном техническом университете при чтении специального курса «Вертикальный транспорт».

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Публикации в журналах из перечня ВАК РФ

1. Хазанович, Г. Ш. Современные системы контроля состояния лифтовых установок / Г. Ш. Хазанович, Д. С. Апрышкин // Безопасность техногенных и природных систем. – 2019. – № 2. – С. 37-40. – DOI 10.23947/2541-9129-2019-2-37-40.

2. Хазанович, Г. Ш. Оценка нагруженности силовых элементов пассажирского лифта по результатам регулярного мониторинга / Г. Ш. Хазанович, Д. С. Апрышкин // Безопасность техногенных и природных систем. – 2020. – № 1. – С. 32-42. – DOI 10.23947/2541-9129-2020-1-32-42.

3. Снижение риска возникновения и тяжести последствий несчастных случаев при авариях лифтов / А. В. Панфилов, В. П. Колганов, О. А. Бахтеев [и др.] // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2020. – № 3. – С. 451-460.

4. Апрышкин, Д. С. Методика и алгоритм имитационного моделирования режимов работы пассажирского лифта / Д. С. Апрышкин, Г. Ш. Хазанович // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 3(33). – С. 84-92. – DOI 10.35108/isvp20203(33)84-92.

5. Апрышкин, А. С. Установление показателей загрузки и транспортной комфортности пассажирского лифта / А. С. Апрышкин, Г. Ш. Хазанович // Безопасность техногенных и природных систем. – 2021. – № 1. – С. 38-50. – DOI 10.23947/2541-9129-2021-1-38-50.

6. Апрышкин, Д. С. Совершенствование программы технического обслуживания пассажирских лифтов на основе имитационного моделирования режимов их работы / Д. С. Апрышкин, Г. Ш. Хазанович, В. О. Гутаревич // Advanced Engineering Research. – 2021. – Т. 21. – № 2. – С. 171-183. – DOI 10.23947/2687-1653-2021-21-2-171-183.

7. Апрышкин, Д. С. Обоснование периодичности технического обслуживания пассажирских лифтов на основе исследований режимов и условий их эксплуатации / Д. С. Апрышкин, Г. Ш. Хазанович, А. В. Отроков // Безопасность техногенных и природных систем. – 2022. – № 4. – С. 61-70. – DOI 10.23947/2541-9129-2022-4-61-70.

Публикации в зарубежных журналах

1. Computer Modeling of Dynamic Processes of Passenger Elevators at Casual External Influence (Компьютерное моделирование динамических процессов пассажирских лифтов при случайных внешних воздействиях) / G.S. Khazanovich, A.V. Otrokov, D.S. Aprishkin // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 2018, pp. 1-6. URL:<https://ieeexplore.ieee.org/document/8602877>

Публикации в других научных изданиях

1. Короткий, А. А. Анализ лифтового парка Российской Федерации / А. А. Короткий, В. П. Колганов, Д. С. Апрышкин // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства : Материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 01 февраля 2018 года / Ответственный редактор Ш.М. Мерданов. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2018. – С. 154-158.

2. Анализ аварийных ситуаций на пассажирских лифтах и разработка предложений по повышению их безопасности / А. А. Короткий, Г. Ш. Хазанович, Д. С. Апрышкин, В. П. Колганов // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства : Материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 01 февраля 2018 года / Ответственный редактор Ш.М. Мерданов. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2018. – С. 158-162.

3. Хазанович, Г. Ш. Методика оценки нагруженности главного привода пассажирского лифта по результатам имитационного моделирования / Г. Ш. Хазанович, Д. С. Апрышкин // Актуальные проблемы науки и техники. 2020 : Материалы национальной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 25–27 марта 2020 года / Отв. редактор Н.А. Шевченко. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2020. – С. 1226-1229.

Программа для ЭВМ

1. Имитационное моделирование режимных характеристик пассажирского лифта /А.В. Отроков, Г.Ш. Хазанович, Д.С. Апрышкин //Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022661811. 27.06.2022.