

**МЕЧИЕВ АЮБ ВАХАЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ПУТЕЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ЛИФТОВ**

Специальность 05.05.04 – Дорожные, строительные и подъемно-транспортные  
машины

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

МОСКВА – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования Национальном научном исследовательском Московском государственном строительном университете на кафедре механизации строительства.

**Научный руководитель:**

**Степанов Михаил Алексеевич**  
кандидат технических наук, доцент  
кафедра «Механизация строительства»  
НИУ МГСУ, доцент

**Официальные оппоненты:**

**Анцев Виталий Юрьевич**  
Доктор технических наук, профессор  
Тульский государственный университет,  
заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные  
машины и оборудование»

**Витчук Павел Владимирович**  
кандидат технических наук, доцент  
кафедра «Подъемно-транспортные системы»  
Калужский филиал МГТУ им. Баумана, доцент

**Ведущая организация:**

**Ведущая организация**  
Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический университет.  
Россия, 125319, Москва, Ленинградский  
проспект, 64. Тел.: (499)346-01-68

Защита состоится «24» декабря 2018 г. в \_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 212.141.07 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

Ваши отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 105005, Москва, 2-ая Бауманская ул., д. 5, стр. 1, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.141.07.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте <http://www.bmstu.ru> Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

доктор технических наук



Е.Б. Сарач

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Несмотря на то, что лифт должен быть безопасным в соответствии с техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 011/2011 «Безопасность лифтов», в настоящее время остро стоит проблема, связанная с безопасной эксплуатацией лифтов, о чём свидетельствуют статистические данные случаев гибели и травматизма на территории Российской Федерации за период 2005-2013 гг.

На безопасность и надежную эксплуатацию лифтов влияют такие факторы как: уровень организации труда и производства; система контроля качества и надежности; качество комплектующих изделий; качество используемого материала; квалификация рабочего персонала; техническое состояние и совершенство используемого оборудования; соблюдение технических требований на изготовление.

При принятии стратегии технического обслуживания необходимо использовать информацию о надежности каждого узла лифта и учитывать такие важные факторы как: машинное время работы лифтов; сегмент здания (административное, жилое); режимы нагружения лифтов; тип привода и т.д.

Несоблюдение вышеописанных факторов приводит к снижению надежности и безопасности лифтов.

В целом причины отказов можно разделить на 4 группы: конструктивные недостатки; некачественное изготовление; некачественный монтаж; некачественное обслуживание.

Итак, актуальность работы в научном аспекте обоснована необходимостью повышения безопасности эксплуатируемых лифтов.

**Цель работы.** Разработка путей обеспечения безопасной эксплуатации лифтов на основе методики оценки уровня безопасности компонентов и организации технического обслуживания.

Для достижения цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

- 1) Проведение анализа неисправностей и выявление наиболее опасных элементов лифта при нормальной эксплуатации.
- 2) Представление лифта в виде иерархической системы.
- 3) Проведение кластерного анализа для построения дендограммы лифта.
- 4) Разработка методологии оценки уровня безопасности при эксплуатации лифта.
- 5) Разработка статистического метода определения рационального количества обслуживаемых лифтов.
- 6) Разработка рекомендаций для рационального объема парка обслуживаемых лифтов.

**Научная новизна заключается в:**

- 1) получении уравнений оценки безопасности эксплуатации лифта, учитывающих машинное время работы лифта, расположение обслуживаемых объектов, влияние каждого узла на безопасность, объем парка обслуживаемых лифтов;
- 2) развитии статистического метода определения рационального объема парка обслуживаемых лифтов, учитывающего машинное время работы лифта, количество остановок и технико-экономический параметр эксплуатации лифта;
- 3) установлении зависимостей интенсивности восстановления работоспособности лифта от среднего времени ожидания ликвидации отказа, рационального количества обслуживаемых лифтов от среднего времени ожидания, коэффициента использования обслуживающего персонала от количества обслуживаемых лифтов для различных действующих объектов, коэффициента готовности лифта от их количества, позволяющих повысить надежность и безопасность работы лифта.

**Обоснованность и достоверность** основных теоретических положений и результатов работы обеспечиваются использованием законов надежности, методов аппроксимации данных, а также соответствующего математического аппарата;

апробацией результатов исследований перед научной общественностью; удовлетворительной согласованностью экспериментальных и расчетных данных.

### **Практическая значимость работы**

На основании результатов выполненных исследований разработаны:

- 1) программное обеспечение модели технического обслуживания лифтов;
- 2) рекомендации по срокам модернизации лифтов с учетом уровня безопасности;
- 3) рациональное значение коэффициента использования канала обслуживания (электромеханика);
- 4) рекомендации по количеству обслуживаемых лифтов;
- 5) результаты статистической выборки, позволяющие определять интенсивность отказов и интенсивность восстановления лифтов;
- 6) результаты экспериментальных исследований, проведенных на базе имитационного моделирования с учетом различного количества обслуживаемых лифтов.

**Реализация результатов работы.** Разработанная методика и программа имитационного моделирования была принята к использованию в компании АО «Коне лифты», что подтверждено соответствующим актом использования, а также в учебном процессе при подготовке бакалавров, специалистов и магистров на кафедре механизации строительства НИУ МГСУ.

**Апробация полученных результатов.** Основные положения результатов работы докладывались на XVIII Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Москва, 2014); XIX Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Москва, 2015); заседаниях кафедры механизации строительства МГСУ (Москва, 2014-2015).

### **Личный вклад автора:**

- 1) проведен анализ неисправностей лифтов, лифт предложено рассматривать как систему с последовательно соединенными элементами, для каждого элемента было установлено наработка на отказ, время восстановления и количество отказов за определенный промежуток времени;
- 2) разработана методика оценки безопасности эксплуатации лифта, учитывающих машинное время работы лифта, расположение обслуживаемых объектов, влияние каждого узла на безопасность, объем парка обслуживаемых лифтов;
- 3) методом имитационного моделирования определены зависимости коэффициента использования лифтов от количества обслуживаемых лифтов, интенсивности восстановления от времени ожидания.
- 4) систему эксплуатации лифтов следует рассматривать как одноканальную систему массового обслуживания.
- 5) определено рациональное количество обслуживающих лифтов в зависимости от интенсивности отказов.

**Публикации.** Тема и содержание диссертационной работы полностью отражены в 7 научных работах, из них в изданиях Перечня ВАК РФ – 4, общим объемом 1,42 п.л.

**Структура работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав основного текста, общих выводов, библиографического списка и приложений. Основной текст изложен на 132 листах машинописного текста, содержит 42 рисунка, 38 таблиц и списка литературы из 125 источников.

### **На защиту выносятся:**

- 1) рекомендации по срокам модернизации лифтов с учетом безопасности работы лифта;

- 2) методика определения уровня безопасности лифта;
- 3) методика по определению рационального количества лифтов, обслуживаемых одним электромехаником с учетом различных условий обслуживания, по критерию технико-экономической эффективности;
- 4) зависимости интенсивности восстановления от среднего времени ожидания перед началом устранения неисправности, рационального количества обслуживаемых лифтов от среднего времени ожидания;
- 5) коэффициент использования электромеханика от количества обслуживаемых лифтов для различных действующих объектов;
- 6) зависимость рационального количества обслуживаемых лифтов от машинного времени, зависящего от этажности рассматриваемого здания.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

*Во введении* обоснована актуальность темы, сформулированы задачи исследования и научные положения, выносимые на защиту.

*В первой главе* диссертационной работы проведено обоснование задач исследования. Рассмотрены основные показатели надежности, которые можно разложить на единичные и комплексные показатели.

Были определены факторы, влияющие на надежность и безопасность лифтов. Надежность лифтов определяется в основном надежностью:

- электрического оборудования (трансформаторы, электромагниты, электродвигатели, контакторы, электромеханические реле и т.д.);
- механического оборудования (КВШ, тяговые канаты, ограничитель скорости, тормоз и т.д.);
- электронного оборудования (частотный преобразователь, кодер и т.д.).

Приводятся статистические данные случаев травматизма и гибели при эксплуатации лифтов, опубликованные Комитетом по аналитике и статистике Национального лифтового союза, которые свидетельствуют о тенденции их роста.

Был проведен обзор результатов ранее выполненных научных исследований. Научными основами исследования вертикального транспорта и оптимизацией строительных и подъемно-транспортных машин занимались ведущие ученые отрасли: Проничев Н.Д., Лобов Н.А., Баловнев В.И., Волков Д.П., Домбровский Н.Г., Недорезов И.А., Кудрявцев Е.М., Котельников В.С., Зорин В.А. Наибольший интерес среди них представляют работы Архангельского Г.Г., Бархаева С.Ю., Баркова А.Ю., Чутчикова П.И., Овчинниковой Ю.С., Витчука П.В., которые посвящены исследованию динамики подъемников и лифтового оборудования, а также изучению и повышению надежности и безопасности лифтов и подъемников. Данный обзор показал, что на сегодняшний день отсутствуют нормативные требования к коэффициенту загрузки (использования) обслуживающего технического персонала, методики его определения, а также отсутствует методика определения безопасности работы лифта.

Завершают первую главу сформулированные выводы.

*Во второй главе* рассматриваются методологические основы исследования.

На основании дуальных булевых переменных рассматривается методика оценки безопасности лифтов. Для характерных условий факторного влияния сред существования получен результат вероятности опасности (Р) и уровня безопасности (Е) единичной ситуации:

$$E = 1 - P. \quad (1)$$

Логика решения задач функционирования сложной технической системы состоящей из  $m$  элементов состоит в описании состояния функции в заданный отрезок времени с

установленными факторами влияния в этот период, но т.к. фиксация отдельного отрезка времени фиксирует только для него характерное состояние, то введем понятие «единичного состояния» и используя инструменты булевой алгебры запишем представление единичной функции, как монотонную, в виде:  $y_1^i(X_m) = y(x_1, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_m)$ . Вариативность состояния элементов системы можно представить  $[y(X_m)]$ , в этом случае, используя оператор ИЛИ, запишем «нулевую», «физическую» (реальную) и «единичную» функцию, как:  $[y_0^i(X_m)] \subseteq [y(X_m)] \subseteq [y_1^i(X_m)]$ .

Применительно к системе оператор конъюнкции характеризует параметр безопасности, а оператор дизъюнкции – параметр риска. Оператор инверсии применим при сопоставлении уровней опасности – безопасности:  $E \leftrightarrow 1 \subseteq P \leftrightarrow 0$ .

Вариативность событий при оценке уровня отклонения вектора вероятностного состояния системы «риск-безопасности» для элементной базы сложной технической системы, в нашем случае лифтов, как наиболее массового представителя видов вертикального транспорта выражаем числом  $k_i$  и рангом  $r_i$  описываемых операторами конъюнкции в ортогональной дизъюнктивно-нормальной форме, содержащей аргумент  $x_i$ :

$$q_i = \sum_{i=1}^k 2^{-(r_i-1)} - \sum_{j=1}^e 2^{-(r_i-1)}. \quad (2)$$

Одним из основных методов исследования является имитационное моделирование, которое позволяет строить модели, описывающие процессы так, как они проходили бы в действительности.

Данный метод имеет следующие цели:

- описание поведения системы;
- построение гипотезы и теории, которые могли бы объяснить наблюдаемое поведение;

При имитационном моделировании события, происходящего в системе, соответствуют продвижению индикатора времени (транзакта). В данном исследовании в качестве транзакта рассматривается отказ, происходящий в лифтовой системе.

Главными причинами применения данного метода можно назвать:

- при отсутствии возможности построения аналитической модели: в системе есть причинные связи, нелинейности, время, последствие, случайные величины;
- высокая стоимость и невозможность проведения эксперимента на реальном объекте.

Использование данного метода можно объяснить высокой стоимостью проведения реального эксперимента, а также необходимостью большого периода времени для сбора данных, подтверждающих имеющиеся у нас статистические данные.

Среди множества систем имитационного моделирования была выбрана система GPSS World в силу следующих достоинств:

- простота в изучении и использовании, что, в том числе, обеспечивается удобным интерфейсом;
- данная система имеет широкий диапазон использования;
- имеются средства, обеспечивающие поддержку дисперсионного, регрессионного и факторного анализов.

Для детальной обработки статистических данных возникновения отказов, времени ожидания перед началом ремонтных работ, времени устранения отказов и дальнейшего их сведения в таблицы использовался кластерный анализ, который заключается в проведении декомпозиции лифта на составляющие узлы и их элементы в зависимости от характера неисправности, причин её возникновения и расположения оборудования.

В данном исследовании использовался иерархический метод кластеризации, главное преимущество которого заключается в его наглядности, так как его применение связано с построением древовидной схемы – дендрограммы.

При кластеризации лифтового оборудования все узлы и элементы будут объединяться в кластеры по функциональному назначению, т.е. в такие лифтовые узлы, как система управления, двери, кабина лифта и т.д., которые в дальнейшем можно объединить в общий кластер, представляющий собой рассматриваемый нами лифт.

Далее рассматривается аналитический метод исследования, представляющий собой научный метод решения проектных и плановых задач, который является одним из основных методов оценки надежности наряду с экспериментальным и статистическим методами.

Всю систему элементов лифта можно охарактеризовать следующими показателями: количеством отказов за рассматриваемый промежуток времени –  $n_{\text{отк}}$ ; наработкой на отказ –  $T_{\text{отк}}$ ; временем восстановления –  $T_{\text{в}}$ ; суммарной стоимостью восстановления –  $C_{\text{в}}$ ; коэффициентом готовности –  $K_{\text{г}}$ .

Для оценки системы массового обслуживания необходимо также знать основные параметры системы:

- интенсивность потока заявок  $\lambda$ ;
- интенсивность восстановления (производительность канала)  $\mu$ .

Они имеют вид:

$$\lambda = \frac{m(\Delta t)}{N \cdot \Delta t}, \quad (3)$$

где  $m(\Delta t)$  – число отказавших объектов в интервале времени от  $t - \frac{\Delta t}{2}$  до  $t + \frac{\Delta t}{2}$ ;  
 $N$  – количество объектов, вышедших из строя;

$$\mu = \frac{1}{(T_{\text{ож}} + T_{\text{рем}})/N}, \quad (4)$$

где  $T_{\text{ож}}$  – время ожидания с момента возникновения неисправности и до начала ремонта;  $T_{\text{рем}}$  – время, затрачиваемое на ремонт.

Завершается вторая глава выводами.

**В третьей главе** разрабатывается методика оценки безопасности эксплуатации лифта и методика определения рационального количества обслуживаемых лифтов, где критерий рационализации – это минимальные экономические затраты при ремонте лифтов при заданном ограничении коэффициента загрузки обслуживающего персонала.

Из ГОСТ Р 54999-2012 следует, что техническое обслуживание включает в себя: осмотры, проверки; смазку, очистку; работы по регулировке, наладке; ремонт или замену изношенных или вышедших из строя элементов лифта, не влияющих на основные параметры и характеристики лифта; безопасную эвакуацию людей из кабины.

В нашем случае рассматривается частный случай технического обслуживания, при котором обслуживающий персонал осуществляет: смазку; очистку; работу по регулировке, наладке; ремонт или замену изношенных или вышедших из строя элементов лифта; безопасную эвакуацию людей из кабины.

Технического обслуживания лифта можно представить в виде системы массового обслуживания (СМО). СМО представляет собой обслуживание потока заявок (отказов лифта), поступающих с заданной интенсивностью  $\lambda$ . Обслуживание таких заявок продолжается в течение некоторого времени каналом обслуживания (электромехаником) с интенсивностью  $\mu$ .

Для детальной обработки статистических данных возникновения отказов, времени ожидания перед началом ремонтных работ и дальнейшего их сведения в таблицы был использован кластерный анализ, который заключался в проведении декомпозиции

лифта на составляющие узлы и их элементы в зависимости от характера неисправности, причин её возникновения и расположения оборудования. Это также позволило определить процентное соотношение отказов по всем узлам лифтовой системы.

Обработанные статистические данные по трём действующим объектам (Ленинградское шоссе, д. 39А, Преображенская площадь, д. 8, ул. Лесная, д. 5) были сведены в таблицу. На основании анализа отказов были выявлены наиболее проблемные элементы лифта, влияющие на безопасность – двери кабины и шахты (от 35 до 38%) и системы управления (28-30%). Для сокращения отказов дверей можно установить камеры наблюдения, т.к. отказ дверей связан с вандальными проявлениями. Для систем управления – установкой стабилизаторов при нестабильной подаче питания, а также своевременной заменой компонентов.

Таблица 1.

Статистические данные рассматриваемых объектов №1, №2 и №3

№	Значение	Количество заявок	Процент от общего количества заявок (%)	Время ожидания, Тож (мин)	Время на устранение неисправности, Тр (мин)	Лифты, вышедшие из строя	Интенсивность отказов, $\lambda$	Интенсивность восстановления, $\mu$
1	Двери кабины и шахты	12	38,71	16304,2	4739,31	7	0,005	0,821
		10	35,71	6743,19	3712,46	6	0,005	1,377
		11	36,67	3714,26	3963	6	0,005	2,063
2	Канаты	0	0,00					
3	Направляющие	0	0,00					
4	Оборудование МП	2	6,45	4602,47	7062,5	2	0,003	0,247
		3	10,71	3472,85	10170	3	0,003	0,317
		2	6,67	1108,75	6962,5	2	0,003	0,357
5	Оборудование шахты	4	12,90	8317,86	40,35	4	0,003	0,689
		2	7,14	2029,46	22,11	2	0,003	1,404
		2	6,67	1096,21	60,84	2	0,003	2,489
6	Кабина	0	0,00					
7	Система привода	3	9,68	2326,22	290,63	2	0,004	1,651
		3	10,71	1123,06	275,13	2	0,004	3,090
		4	13,33	763,71	92,3	3	0,004	6,729
8	Система управления	9	29,03	15228,08	9095,76	7	0,004	0,533
		8	28,57	6828,03	7326,6	6	0,004	0,814
		9	30,00	3795,69	7905,3	7	0,004	1,108
9	Сигнализация	1	3,23	1615,72	929,75	1	0,003	0,566
		2	7,14	1414,15	1950,4	2	0,003	0,856
		2	6,67	714,16	3629,5	2	0,003	0,633
итого		31	100,00	48394,55	22158,3	7	0,012	0,633
		28		21610,74	23456,68	6	0,013	0,895
		30		11192,78	22613,44	7	0,012	1,278

По полученным значениям среднего времени ожидания и соответствующих им интенсивностей восстановления (Таблица 2) была построена зависимость (Рис. 1) и получена аппроксимация методом наименьших квадратов, которая имеет степенной характер.

Таблица 2.

Значения полученного среднего времени ожидания и соответствующей ему интенсивности восстановления

$T_{ож}, ч$	6,21	12,86	26,01
$\mu$	1,278	0,859	0,633



Рис. 1. Аппроксимация зависимости интенсивности восстановления  $\mu$  от времени ожидания  $T_{ож}$  системы лифтов



Уравнение аппроксимированной данной зависимости имеет вид:

$$y_1 = 3,0909x_1^{-0,491}, \quad (5)$$

где  $x_1$  – среднее время ожидания перед началом устранения неисправности  $T_{ож}$ , ч;  
 $y_1$  – интенсивность восстановления  $\mu$ .

Уравнение аппроксимации позволяет нам определить интенсивность восстановления в зависимости от времени ожидания. Зависимость носит степенной характер, которая показывает, что с увеличением времени ожидания интенсивность восстановления уменьшается.

По данным из Таблицы 1 (для объекта №1) определим вклад каждого элемента  $b_i$  в риск-безопасность, который будет соответствовать проценту заявок выхода из строя отдельных элементов. Данные получены за 1 год работы лифтов. На рассматриваемом объекте количество лифтов составляет 10 единиц. Исходя из того, что лифт ремонтируется одним электромехаником и стоимость одного часа примерно одинакова при ремонте всех элементов лифта, то ранг ремонтных затрат можно определить:

$$r_i = \frac{T_{ож\ i} + T_{р\ i}}{\sum_i^n (T_{ож} + T_{р})}, \quad (6)$$

где  $T_{ож\ i}$  – время ожидания перед началом устранения неисправности для  $i$ -го элемента;  $T_{р\ i}$  – время ремонта  $i$ -го элемента;  $T_{ож}$  – общее время ожидания для всех элементов;

$T_{р}$  – общее время ремонта для всех элементов.

При этом риск опасности  $P_i$  определим как:

$$P_i = b_i r_i. \quad (7)$$

Полученные значения вкладов в риск-безопасность  $b_i$ , рангов  $r_i$  и риски опасности  $P_i$  сведем в Таблице 3:

Таблица 3.

Номер элемента лифта и соответствующие ему значения риска безопасности, ранга, риска опасности и уровня безопасности компонента

№ элемента	$b_i$	$r_i$	$P_i$	$E_i$
1	0,3871	0,3	0,12	0,88
4	0,0645	0,165	0,01	0,99
5	0,129	0,18	0,02	0,98
7	0,0961	0,037	0,004	0,996
8	0,2903	0,347	0,1	0,9
9	0,0323	0,036	0,001	0,999

Определим уровень безопасности лифта:  $E = (1 - P_1)(1 - P_4)(1 - P_5)(1 - P_7)(1 - P_8)(1 - P_9) = 0,88 \cdot 0,99 \cdot 0,98 \cdot 0,996 \cdot 0,9 \cdot 0,999 = 0,765$ .

Зная значения уровня безопасности лифта и соответствующего ему коэффициента готовности для рассматриваемого объекта, на котором количество лифтов составляет 10 единиц, определим значения уровней безопасности при различном количестве обслуживаемых лифтов и соответствующих им коэффициентов готовности, которые мы возьмем из графика (Рис. 1).

Значения уровней безопасности можно определить по следующей зависимости:

$$E_i = \frac{E_{10} \cdot K_{г\ i}}{K_{г\ 10}}, \quad (8)$$

где  $E_{10}$  – значение уровня безопасности для 10 лифтов, который равен 0,765;  $K_{г\ i}$  – коэффициент готовности для  $i$  лифтов;  $K_{г\ 10}$  – коэффициент готовности для 10 лифтов.

По полученным значениям построим график зависимости уровня безопасности от количества обслуживаемых лифтов для объекта №1 и аналогично для объектов №2 и №3.

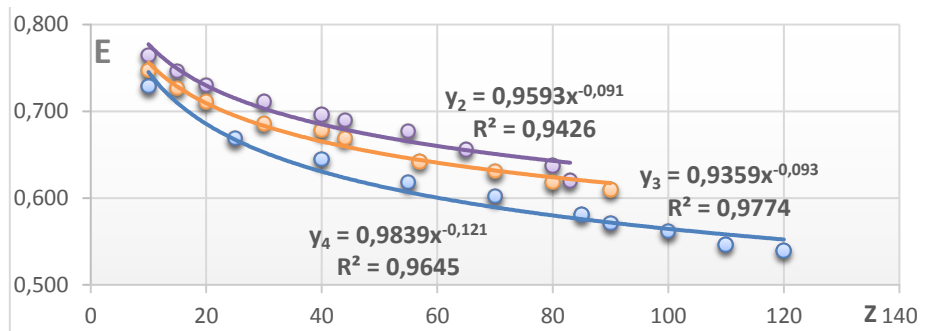


Рис. 2. Графики зависимостей уровня безопасности от количества обслуживаемых лифтов для объектов №1, №2 и №3

Уравнения аппроксимированных кривых для объектов №1, №2 и №3 имеют вид:

$$y_2 = 0,9593x_2^{-0,091}. \quad (9)$$

$$y_3 = 0,9359x_3^{-0,093}. \quad (10)$$

$$y_4 = 0,9839x_4^{-0,121}. \quad (11)$$

С помощью системы мониторинга E-Link, разработанную компанией KONE, было определено машинное время работы лифтов, которое соответствует показаниям ранее проведенных исследований с расхождением не более 5% и составляет:

Таблица 4.

Машинное время работы лифта	
Этажность	Машинное время, ч
4-6	2,75
7-9	3,5
10-15	4,5
16-24	6,25

Используя значения уровней безопасности лифта для рассматриваемых объектов, которые составляют 0,765 для объекта №1, 0,747 для объекта №2, 0,729 для объекта №3, построим графики зависимостей уровня безопасности от машинного времени.

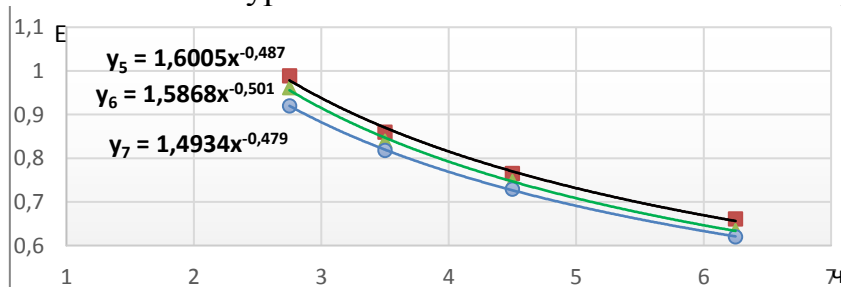


Рис. 3. Аппроксимации зависимостей уровня безопасности лифта от машинного времени для объектов №1, №2 и №3

По результатам обследования инженерных систем и части строительных конструкций комплекса зданий Дома Совета Федераций, проведенного Московским Государственным строительным университетом, зависимость количества отказов от срока эксплуатации имеет вид:

$$y_8 = 1,5x_8^2 - 12,4x_8 + 28,7. \quad (12)$$

где  $y_8$  – количество отказов;  $x_8$  – срок эксплуатации лифта, г.

По значениям вкладов в риск-безопасность в Таблице 3, построим графики зависимостей количества отказов от срока эксплуатации для всех компонентов, соответствующих рассматриваемому объекту №1:

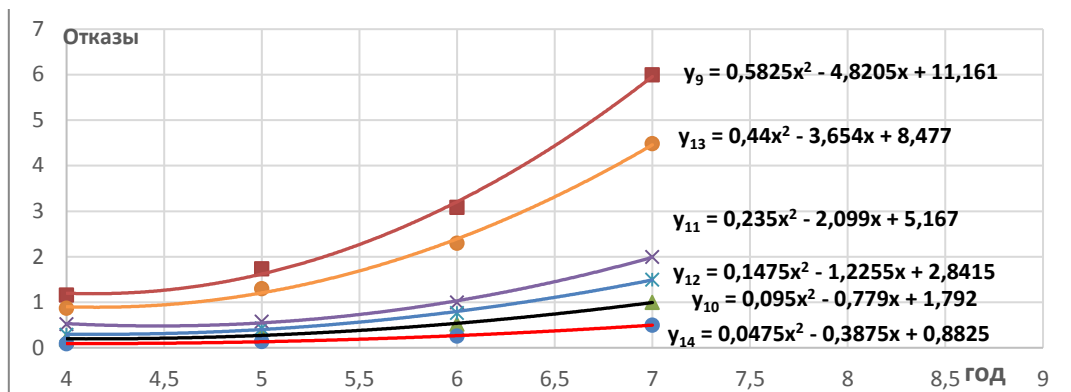


Рис. 4. Графики зависимостей количества отказов от срока эксплуатации для дверей кабины и шахты (9), оборудования МП (10), оборудования шахты (11), системы привода (12), системы управления (13) и сигнализации (14)

В соответствии с ГОСТ Р 55964-2014 средний срок службы дверей кабины и дверей шахты составляет 12,5 лет, оборудования МП и оборудования шахты – 15 лет, системы привода – 25 лет, системы управления и сигнализации – 12,5 лет.

С учетом этих значений и графиков зависимостей количества отказов от срока эксплуатации для различных компонентов, определяется количество отказов для различного срока эксплуатации:

Таблица 5.

Количество отказов для различного срока эксплуатации

Компонент	5 лет	10 лет	12,5 лет	15 лет	20 лет	25 лет
Двери кабины и шахты	1,74	21,2	41,92	2,74	7,8	41,92
Оборудование МП	0,29	3,5	6,9	11,48	0,29	3,5
Оборудование шахты	0,58	7,8	15,65	26,5	0,58	7,8
Система привода	0,43	5,34	10,52	17,68	37,33	64,39
Система управления	1,3	15,9	31,55	2,09	5,8	31,55
Сигнализация	0,14	1,76	3,46	0,2	0,64	3,46

Далее с помощью методики оценки безопасности эксплуатации лифта определялся уровень безопасности лифта для всех сроков эксплуатации и на основании полученных значений была построена зависимость уровня безопасности лифта от срока эксплуатации, которая носит полиномиальный характер четвертой степени:

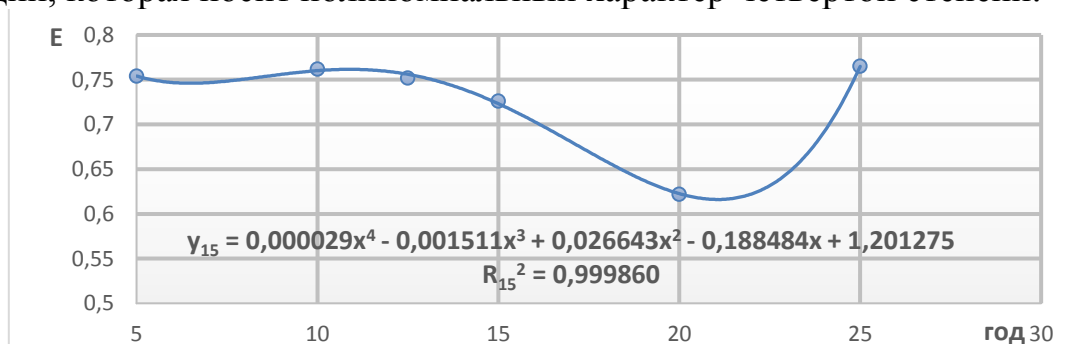


Рис. 5. Аппроксимация зависимости уровня безопасности лифта от срока эксплуатации для объекта №1

Уравнение аппроксимированной кривой имеет вид:

$$y_{15} = 0,000029x^4 - 0,001511x^3 + 0,026643x^2 - 0,188484x + 1,201275 \quad (13)$$

Величина достоверности аппроксимации  $R_{15}^2 = 0,99986$ .

Для разработки методики определения рационального количества обслуживаемых лифтов, обеспечивающую безопасность эксплуатации лифта, использовалась программа имитационного моделирования GPSS World.

Рассмотрим математический аппарат системы массового обслуживания в установившемся режиме, когда основные вероятностные характеристики СМО постоянны во времени. Тогда интенсивности входных и выходных потоков для каждого состояния будут сбалансированы. Эти балансы выглядят так:

$$\begin{aligned} S_0 \times m \times \lambda &= S_1 \times \mu; \\ S_1 \times (\mu + (m-1) \times \lambda) &= S_0 \times m \times \lambda + S_2 \times \mu; \\ S_n \times (\mu + (m-n) \times \lambda) &= S_{n-1} \times (m - (n-1)) \times \lambda + S_{n+1} \times \mu; \\ S_m \times \mu &= S_{m-1} \times \lambda; \end{aligned}$$

где  $S_0$  – канал свободен;  $S_1$  – канал занят, очереди нет;  $S_2$  – канал занят, одна заявка стоит в очереди;  $S_n$  – канал занят,  $n-1$  заявок в очереди;  $S_m$  – канал занят,  $m-1$  заявок в очереди;  $\lambda$  – интенсивность отказов;  $\mu$  – интенсивность восстановления.

Обозначим величину  $\lambda/\mu$  через  $\psi$  и назовем её коэффициентом загрузки.

Из первого уравнения можно найти значение  $S_1$ :  $S_1 = S_0 \times m \times \lambda / \mu = S_0 \times m \times \psi$ .

Из второго уравнения найдем значение  $S_2$ :  $S_2 = S_1 + S_1 \times (m-1) \times \lambda / \mu - S_0 \times m \times \lambda / \mu$ .

Но первый член:  $S_1 = S_0 \times m \times \lambda / \mu$ .

Следовательно, первый и третий сокращаются:  $S_2 = S_1 \times (m-1) \times \lambda / \mu = S_0 \times m \times (m-1) \times \psi^2$ .

Из третьего уравнения найдем значение  $S_3$ :  $S_3 = S_2 + S_2 \times (m-2) \times \lambda / \mu - S_1 \times (m-1) \times \lambda / \mu$ .

Но первый член:  $S_2 = S_1 \times (m-1) \times \lambda / \mu$ .

Следовательно, первый и третий сокращаются:  $S_3 = S_2 \times (m-2) \times \lambda / \mu = S_0 \times m \times (m-1) \times (m-2) \times \psi^3$  и т.д.  $S_n = S_{n-1} \times (m - (n-1)) \times \lambda / \mu = S_0 \times m \times (m-1) \dots (m - (n-1)) \times \psi^n$ ;  $S_n = S_0 \times \psi^n \times m! / (m-n)!$ .

Используя очевидное равенство  $\sum_{n=0}^m S_n = 1$ , получим:  $1 = S_0 \times \sum_{n=0}^m \psi^n m! / (m-n)!$ .

Отсюда:

$$S_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^m \frac{\psi^n \times m!}{(m-n)!}}.$$

Для установившегося режима работы системы средняя интенсивность поступления требований во входном потоке равна аналогичной характеристике выхода требований из канала обслуживания:  $(m - N_{\text{syst}}) \lambda = (1 - P_0) \times \mu$ ,

где  $N_{\text{syst}}$  – среднее число обслуживаемых требований, находящихся в системе.

Из данного равенства можно найти среднее число требований, находящихся в системе,  $N_{\text{syst}}$ :  $N_{\text{syst}} = m - (1 - P_0) / \psi$ . Среднее же число требований, находящихся в очереди, будет вычислено так:  $N_{\text{och}} = N_{\text{syst}} - (1 - P_0) = m - (1 - P_0) \times (1 / \psi + 1)$ .

С помощью программы имитационного моделирования GPSS World по каждому объекту напомним программу расчета коэффициента использования канала обслуживания (электромеханика) и построим график зависимости коэффициента использования от количества обслуживаемых лифтов. При этом для сбора большей статистики проведем моделирование системы за один год, то есть 365 дней.

По полученным значениям были построены зависимости коэффициентов использования от количества обслуживаемых лифтов для трёх рассматриваемых объектов (Рис. 2) и получены аппроксимации зависимостей, которые имеют степенной характер.

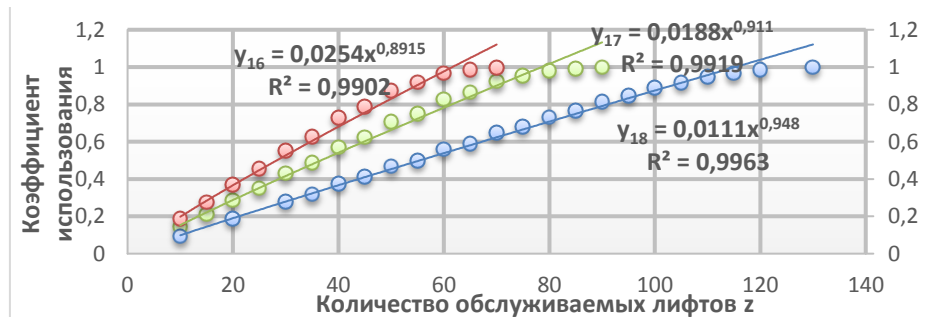


Рис. 6. Аппроксимации зависимостей коэффициента использования канала обслуживания от количества обслуживаемых лифтов для объектов №1, №2 и №3

Уравнения аппроксимаций для объектов №1, №2 и №3 имеют вид:

$$y_{16} = 0,0254x_{16}^{0,8915}. \quad (14)$$

$$y_{17} = 0,0188x_{17}^{0,911}. \quad (15)$$

$$y_{18} = 0,0111x_{18}^{0,948}. \quad (16)$$

Полученные зависимости позволяют нам определить коэффициент использования канала обслуживания в зависимости от количества обслуживаемых лифтов. Зависимость носит степенной характер, которая показывает, что с увеличением количества обслуживаемых лифтов коэффициент использования канала обслуживания возрастает.

Рациональное количество обслуживаемых лифтов определялось по критерию технико-экономической эффективности с помощью математического аппарата:

$$y(z) = \frac{[P_0(z) \cdot \text{СВП} + (1 - P_0(z)) \cdot \text{СВР} + \mu \cdot (1 - P_0(z)) \cdot \text{СК} \cdot 2]}{[G \cdot \mu \cdot (1 - P_0(z))]} + \frac{\text{ЕН} \cdot (\text{SB} + z \cdot \text{SK})}{T_r \cdot G \cdot \mu \cdot (1 - P_0(z))}, \quad (17)$$

где СВР – затраты, связанные с работой канала обслуживания в течение смены, руб; СВП – затраты, связанные с простоем канала обслуживания, руб; СК – затраты на электроэнергию в течение смены, руб; G – средняя масса, перевозимая лифтом за один рейс, т; SB – капитальные вложения, связанные с затратами на канал обслуживания, руб; SK – капитальные вложения, связанные с приобретением лифта, руб;  $T_r$  – годовой режим работы лифта, маш.-ч; ЕН – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; z – число обслуживаемых лифтов;  $\lambda$  – интенсивность отказов;  $\mu$  – интенсивность обслуживания лифта.

Используя в качестве критерия технико-экономический показатель, определим рациональное количество обслуживаемых лифтов для объекта №1 в среде Mathcad.

1. Задание исходных данных: СВР=2500, СВП=2500, СК=243, G=0,2, SB=70500, SK=5221000,  $T_r$ =2460, ЕН=0,15, z=40-50,  $\lambda$ =0,012,  $\mu$ =0,633.
2. Построение математической модели – y(z) в зависимости от искомого параметра – z:

Определим коэффициент загрузки и вероятность простоя канала обслуживания  $P_0(z)$  при различном числе обслуживаемых лифтов – z.

Коэффициент загрузки  $\psi$  равен отношению интенсивности отказов к интенсивности восстановления, т.е:

$$\psi = \frac{0,012}{0,633} = 0,019. \quad (18)$$

Вероятность простоя (3.13) канала обслуживания имеет вид:

$$P_0(z) = \frac{1}{1 + \sum_{n=1}^z \frac{z! \psi^n}{(z-n)!}}. \quad (19)$$

В зависимости от количества обслуживаемых лифтов z вероятность простоя канала обслуживания будет иметь следующие значения:

Таблица 6.

Количество обслуживаемых лифтов и соответствующее им значение вероятности простоя канала обслуживания для объекта №1

z	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
$P_0(z)$	0,283	0,267	0,251	0,235	0,22	0,205	0,19	0,176	0,162	0,149	0,136

3. Определение рационального количества обслуживаемых лифтов табличным и графическим методами.

Подставив в (18) z получаем значения технико-экономического показателя.



Таблица 7.

Количество обслуживаемых лифтов и соответствующее им значение технико-экономического показателя для объекта №1

z	y(z)	z	y(z)	z	y(z)	z	y(z)
40	$8,393 \cdot 10^4$	43	$8,365 \cdot 10^4$	46	$8,366 \cdot 10^4$	49	$8,398 \cdot 10^4$
41	$8,381 \cdot 10^4$	44	$8,362 \cdot 10^4$	47	$8,373 \cdot 10^4$	50	$8,416 \cdot 10^4$
42	$8,371 \cdot 10^4$	45	$8,362 \cdot 10^4$	48	$8,383 \cdot 10^4$		

На Рис. 7 представлен график зависимости технико-экономической эффективности от количества обслуживаемых лифтов z для объекта №1:

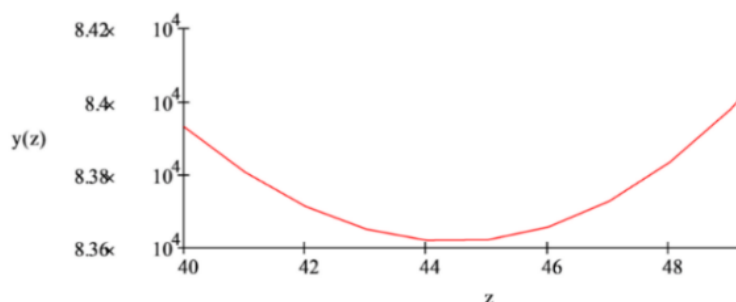


Рис. 7. График зависимости технико-экономической эффективности от количества обслуживаемых лифтов

Таким образом, для интенсивности отказов  $\lambda=0,012$  и интенсивности восстановления  $\mu=0,633$ , что соответствует объекту №1, рациональное число обслуживаемых лифтов составит 44.

Аналогичным образом определяются значения для объектов №2 и №3.

Рациональные значения количества обслуживаемых лифтов для рассматриваемых объектов имеют значения: объект №1 – 44 лифта; объект №2 – 57 лифтов; объект №3 – 85 лифтов.

Подставив данные результаты соответственно в (13), (14) и (15) получили рациональные значения коэффициентов использования электромеханика: объект №1 – 0,771; объект №2 – 0,775; объект №3 – 0,766.

Таким образом, рациональное значение коэффициента использования электромеханика составило 0,77, а максимальное отклонение по трём рассмотренным объектам составляет 0,65%.

Используя данные о времени ожидания перед началом устранения неисправности  $T_{ож}$ , времени, затрачиваемом на устранение неисправности  $T_p$ , числе отказавших объектов в интервале времени  $m$ , количестве объектов, вышедших из строя  $N$  из Таблицы 2 с помощью выражений (19) и (20) получим значения коэффициента готовности  $K_r$  при различном количестве обслуживаемых лифтов.

Коэффициент готовности имеет вид:

$$K_r = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + T_{ож} + T_p}, \quad (20)$$

где  $T_{cp}$  – среднее время наработки на отказ;  $T_{ож}$  – время ожидания перед началом устранения неисправности;  $T_{рем}$  – время, затрачиваемое на устранение неисправности.

При этом  $T_{cp}$  определим как:

$$T_{cp} = 1 / \left( \frac{m(\Delta t)}{N \cdot \Delta t} \right), \quad (21)$$

где  $m(\Delta t)$  – число отказавших объектов в интервале времени от  $t - \frac{\Delta t}{2}$  до  $t + \frac{\Delta t}{2}$ ;

$N$  – количество объектов, вышедших из строя.

Графики зависимости коэффициента готовности от количества обслуживаемых лифтов для объектов №1, №2 и №3 показаны на Рис.8.

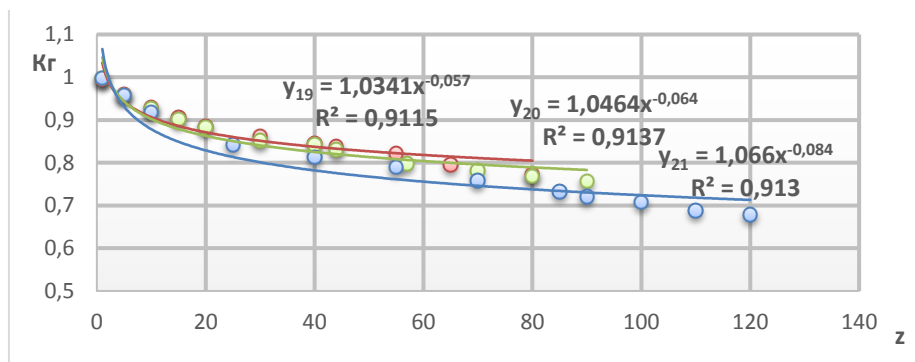


Рис. 8. Зависимости коэффициента готовности от количества обслуживаемых лифтов для объектов №1, №2 и №3

Уравнения аппроксимаций для объектов №1, №2 и №3 имеют вид:

$$y_{19} = 1,0341x_{19}^{-0,057}. \quad (22)$$

$$y_{20} = 1,0464x_{20}^{-0,064}. \quad (23)$$

$$y_{21} = 1,066x_{21}^{-0,084}. \quad (24)$$

При рациональном количестве обслуживаемых лифтов, которое для объекта №1 составит 44 единицы, для объекта №2 – 57 единиц и для объекта №3 – 85 единиц, коэффициент готовности будет иметь соответственно значения 0,843 (объект №1), 0,797 (объект №2) и 0,732 (объект №3). Исходя из полученных графиков, представленных на Рис. 4, и значений показателя технико-экономической эффективности можно сделать вывод, что обслуживание большего количества лифтов приведет к уменьшению коэффициента готовности, что приведет к снижению надежности оборудования, а уменьшение количества обслуживаемых лифтов – к увеличению финансовых расходов, связанных с обслуживанием.

Исследования показали, что при интенсивности отказов и интенсивности восстановления, соответствующих рассматриваемому объекту, количество лифтов, обслуживаемых одним электромехаником, составляет 83 единицы, при этом рациональное количество составит 44 единицы. Из построенной зависимости видно, что с увеличением количества обслуживаемых лифтов одним электромехаником, уровень безопасности Е снижается.

Используя значения коэффициентов использования канала обслуживания и соответствующие им рациональные значения обслуживаемых объемов лифтов, был построен график зависимости рационального количества обслуживаемых лифтов от времени ожидания перед началом устранения неисправности  $T_{ож}$ , и была получена его аппроксимация (Рис. 9).

Значения среднего времени ожидания  $T_{ож}$  и соответствующие им рациональные объемы обслуживаемых лифтов по трём рассмотренным объектам представлены в Таблице 8:

Таблица 8.

Значения среднего времени ожидания  $T_{ож}$  и соответствующие им значения рационального объема обслуживаемых лифтов

$T_{ож}, ч$	6,21	12,86	26,01
$z$	85	57	44

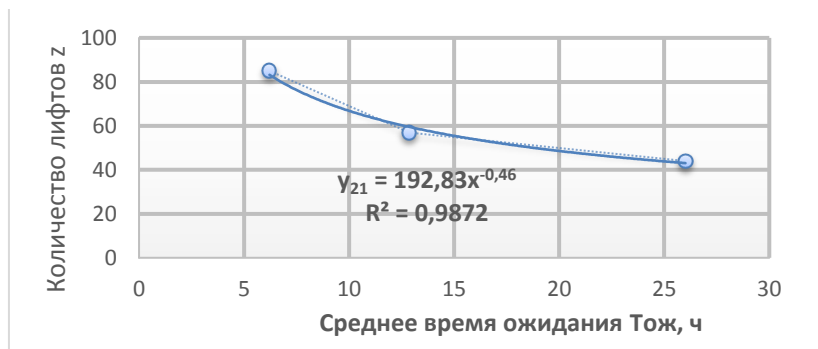


Рис. 9. Аппроксимация зависимости количества обслуживаемых лифтов от времени ожидания перед началом устранения неисправности

Полученное уравнение аппроксимации позволяет нам определить рациональное количество обслуживаемых лифтов в зависимости от времени ожидания. Зависимость носит степенной характер, который показывает, что с увеличением времени ожидания рациональное количество обслуживаемых лифтов уменьшается.

Глава 3 завершается выводами.

**В четвертой главе** рассматривается влияние различной этажности зданий на рациональное количество обслуживаемых лифтов.

На примере ранее рассмотренных действующих объектов, этажность зданий которых составляет 15, определяются рациональные значения количества обслуживаемых лифтов при изменении этажности здания. Рациональное количество обслуживаемых лифтов при различной этажности зданий изменяется из-за увеличения или уменьшения машинного времени работы лифта. Вычислив отношения этих значений, определяем рациональное количество лифтов, при котором канал обслуживания будет иметь тот же коэффициент использования:

Таблица 9.

Этажность здания и соответствующие значения машинного времени и рациональное количество обслуживаемых лифтов для объекта №1, №2 и №3

Этажность	Машинное время, ч	Рац. колич. лифтов для объекта №1	Рац. колич. лифтов для объекта №2	Рац. колич. лифтов для объекта №3
4-6	2,75	71	92	138
7-9	3,5	56	73	109
10-15	4,5	44	57	85
16-24	6,25	31	41	61

В соответствии с этим были построены зависимости, позволяющие определить рациональное количество лифтов, которое может обслуживать один электромеханик, в зависимости от машинного времени работы лифтов (Рис. 10). По данным зависимостям были получены аппроксимации.

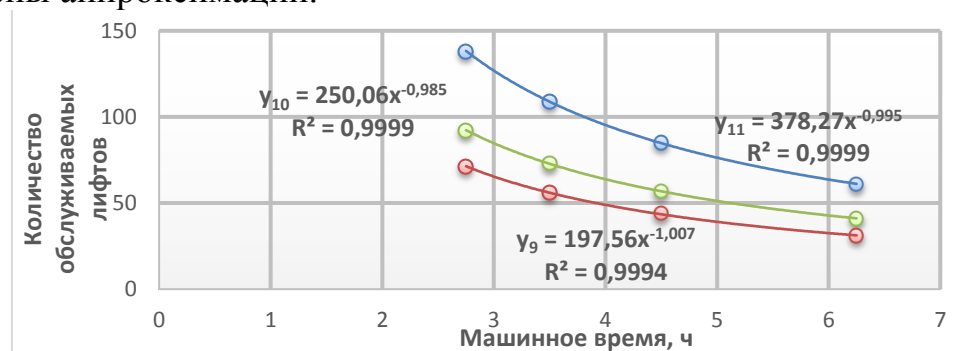


Рис. 10. Зависимости количества обслуживаемых лифтов от машинного времени для объектов №1, №2 и №3

Уравнения аппроксимированных кривых для объектов №1, №2 и №3 имеют вид:



$$y_{22} = 197,56x_{22}^{-1,007}. \quad (25)$$

$$y_{23} = 250,06x_{23}^{-0,985}. \quad (26)$$

$$y_{24} = 378,27x_{24}^{-0,995}. \quad (27)$$

В силу того, что длительный срок эксплуатации лифтов ведет к снижению их надежности и, следовательно, к увеличению интенсивности возникновения отказов, а также к уменьшению наработки на отказ, с помощью математической модели (8) были определены рациональные значения количества обслуживаемых лифтов при увеличении интенсивности отказов  $\lambda$ . Далее были построены зависимости рационального количества обслуживаемых лифтов от интенсивности отказов для трёх рассматриваемых объектов (Рис.11). По данным зависимостям также были получены аппроксимации.

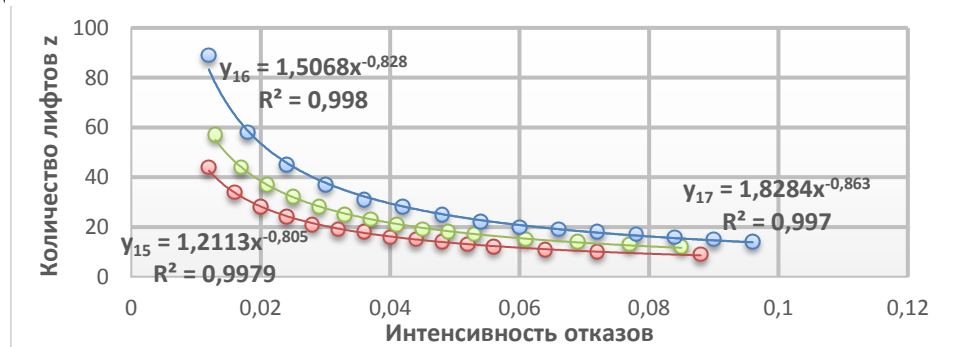


Рис. 11. Аппроксимации зависимостей рационального количества обслуживаемых лифтов от интенсивности отказов для объектов №1, №2 и №3

Уравнения аппроксимированных кривых для объектов №1, №2 и №3 имеют вид:

$$y_{25} = 1,2113x_{25}^{-0,805}. \quad (28)$$

$$y_{26} = 1,5068x_{26}^{-0,828}. \quad (29)$$

$$y_{27} = 1,8284x_{27}^{-0,863}. \quad (30)$$

Полученные уравнения аппроксимаций позволяют нам определить рациональное количество обслуживаемых лифтов в зависимости от интенсивности отказов. Зависимость носит степенной характер, который показывает, что с увеличением интенсивности отказов рациональное количество лифтов, обслуживаемое одним электромехаником, уменьшается.

Далее определяется коэффициент использования электромеханика при обслуживании нескольких объектов, необходимость чего обусловлена тем, что, как правило, электромеханик осуществляет устранение возникающих неисправностей на более, чем одном объекте. В качестве объектов были взяты рассмотренные ранее офисные центры, имеющие следующие адреса: Ленинградское шоссе, дом 39А; Преображенская площадь, дом 8; ул. Лесная, дом 5.

Известно, что среднее значение рационального коэффициента использования электромеханика по данным объектам составляет 0,77. Для нахождения общего коэффициента использования была расширена ранее рассмотренная имитационная модель.

В результате коэффициент использования канала обслуживания (электромеханика) составит 0,47, что свидетельствует о наличии дополнительного резерва для увеличения количества обслуживаемых лифтов либо для выполнения других видов работ.

Глава 4 завершается выводами.

**В заключении** представлены выводы и основные результаты работы.

**Основные выводы и результаты диссертационной работы:**

1. Получены уравнения оценки безопасности эксплуатации лифта, учитывающие машинное время работы лифта, расположения обслуживаемых объектов, влияния каждого элемента на безопасность, объем парка обслуживаемых лифтов. Определено

- влияние и вклад каждого узла лифта на безопасность. Показано, что при обслуживании рационального количества обслуживаемых лифтов уровень безопасности находится в диапазоне от 0,729 до 0,765 от времени занятости. Анализ зависимости уравнения уровня безопасности лифта показал, что после 15 лет эксплуатации требуется модернизация лифта.
2. На основе анализа в направлении развития и совершенствования лифтового оборудования и повышения его безопасности установлено, что для повышения надежности и безопасности лифтового оборудования необходимо обеспечить рациональную нагрузку на единицу обслуживающего персонала.
  3. Разработан статистический метод определения рационального объема парка обслуживаемых лифтов, учитывающий машинное время работы лифта, количество остановок и технико-экономический параметр эксплуатации лифта. Установлено, что рациональное количество обслуживаемых лифтов составит от 44 до 85 в зависимости от расположения обслуживаемого объекта.
  4. Установлены зависимости интенсивности восстановления от среднего времени ожидания перед началом устранения неисправности, коэффициента использования обслуживающего персонала от количества обслуживаемых лифтов для различных действующих объектов, коэффициента готовности от количества обслуживаемых лифтов. Показано, что интенсивность восстановления составит от 0,633 до 1,278 в зависимости от среднего времени ожидания, коэффициент использования обслуживающего персонала - от 0,766 до 0,775 в зависимости от количества обслуживаемых лифтов, коэффициент готовности - от 0,732 до 0,843.
  5. Путем статистического анализа были определены наиболее опасные узлы при эксплуатации лифта, к которым относятся двери кабины и шахты, система управления и сигнализации. Даны рекомендации по уменьшению их отказов.
  6. Разработанная методика и программа имитационного моделирования приняты к использованию в московском филиале компании АО «Коне лифтс».

#### **Основные публикации по теме диссертационной работы**

1. Степанов М.А., Мечиев А.В. Повышение надежности лифта при нормальной эксплуатации // Научное обозрение. 2014. №7. С. 148. (0,66 п.л./0,33 п.л.).
2. Степанов М. А. , Мечиев А.В. Анализ неисправностей при эксплуатации лифтов // Механизация строительства. 2014. № 8. С. 44-46. (0,44 п.л./0,22 п.л.).
3. Степанов М.А. , Мечиев А.В. Определение оптимальной структуры парка лифтов с помощью критерия технико-экономической эффективности // Механизация строительства. 2016. № 7. С. 49-51. (0,38 п.л./0,2 п.л.).
4. Мечиев А.В., Севрюгина Н.С., Степанов М.А. Общеметодологический подход к оценке риска обеспечения конструктивной безопасности лифтов // Механизация строительства. 2017. № 4. С. 24-29. (0,64 п.л./0,33 п.л.).
5. Степанов М.А., Мечиев А.В. Моделирование системы технического обслуживания парк лифтов // Научное обозрение. 2016. №3. С. 27. (0,38 п.л./0,2 п.л.).
6. Мечиев А.В., Степанов М.А. Анализ неисправностей пассажирских лифтов // Материалы XVIII Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы», Москва. 2014. С. 70. (0,13 п.л./0,07 п.л.).
7. Мечиев А.В., Степанов М.А. Исследование параметров надежности пассажирского лифта // Материалы XIX Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы», Москва. 2015. С. 96. (0,13 п.л./0,07 п.л.).