

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Федерально государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Иркутский государственный университет путей и сообщения»  
(ФГБОУ ВО ИрГУПС)

Факультет «Управление на транспорте и информационные технологии»  
Кафедра «Информационные системы и защита информации»

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ  
зав. кафедрой «ИСиЗИ»  
д.т.н., доцент Аршинский Л.В.

ЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИМИТАЦИОННЫМ ПРОЦЕССОМ НА ОСНОВЕ  
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ТЕОРЕМ

Магистерская диссертация

МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ

КОНСУЛЬТАНТ  
по нормоконтролю  
к.т.р. доцент Матиенко Л.В.

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА  
ст. пр. Звонков И.В.

ИСПОЛНИТЕЛЬ  
студент группы ПИМ.1-16-1  
Арляпов С.В.

Иркутск 2018

## Содержание

Введение	5
1 Анализ предметной области	8
1.1 Конструкция лифтов	8
1.1.1 Общая схема лифта	8
1.1.2 Особенности конструкции лифтов в высотных зданиях	10
1.2 Требования к системе управления лифтами	11
1.3 Системы управления лифтами	13
1.4 Системы управления группой лифтов	15
1.4.1 Централизованные системы группового управления лифтами	15
1.4.2 Распределенные системы управления лифтами	16
1.5 Методы управления группой лифтов	17
1.6 Алгоритмы управления лифтами	19
2 Постановка задачи	26
2.1 Упрощения	26
2.1.1 Логическая модель	27
3 Моделирование и анализ	30
3.1 Используемые технологии	30
3.1.1 SWI-Prolog	30
3.1.2 SimPy	32
3.1.3 Дополнительный инструментарий	32
3.2 Реализация программного решения	33
3.2.1 Описание реализации на SimPy	34
3.2.2 Ведение журнала о выполнении программы	35
3.2.3 Пример работы реализации на SimPy	36
3.2.4 Интеллектуальная реализация	37
3.3 Сравнительный анализ	38
3.3.1 Условия проведения тестирования	38
3.3.2 Сравнение реализаций	39
3.3.3 Сравнение реализаций с элементом вероятности	39
3.3.4 Сравнение реализаций на языках Prolog и Python	40
3.4 Выводы	41
Заключение	44
Список использованных источников	45
Приложение А Листинги программ	46
Приложение Б Журналы выполнения программ	51

					<i>МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		<i>Арляпов С.В.</i>			<i>Логическое управление имитационным процессом на основе системы автоматического доказательства теорем</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>
<i>Пров.</i>		<i>Званков И.В.</i>					<i>Листов</i>
							4 54
<i>Н. Контр.</i>		<i>Матюенко Л.В.</i>				<i>ИрГУПС ПИМ.1-16-1</i>	
<i>Утверд.</i>		<i>Аршинский Л.В.</i>					

## Введение

На сегодняшний день неотъемлемой частью технического оснащения практически любого здания является подъемное устройство. Это может быть эскалатор, подъемная платформа, но самым распространенным оборудованием является лифт.

Лифт – это грузоподъемное устройство, предназначенное для вертикального перемещения грузов и людей в кабине, передвигающейся по жестким направляющим. По конструктивным особенностям лифты бывают различными, но несмотря на это действуют они по одному принципу.

В устройстве любого лифта обязательно присутствуют определенные компоненты, такие как кабина (или платформа), она закрепляется на стальных тросах, перекинутых через шкив приводного механизма, передающего силу с одного места на другое. В машинном отделении в верхней части шахты лифта расположен сам приводной механизм вместе с аппаратурой управления лифтом, куда и передаются сигналы из кабины лифта.

Лифты подразделяются на категории по видам транспортируемых грузов.

Существуют лифты пассажирские, используемые в жилых, общественных зданиях. В пассажирском лифте допускается перевозка легких грузов и предметов домашнего обихода при условии, что их общая масса вместе с пассажиром не превышает грузоподъемности лифта. Такие лифты могут быть также с увеличенной платформой - для перевозки больных и инвалидов, поскольку они обязательно должны вмещать на платформу инвалидную коляску или кушетку.

Еще одной категорией являются грузовые лифты, которые также могут подразделяться по видам прилагаемой подъемной силы (к верхней части кабины, либо к нижней).

Лифты могут также классифицироваться по способу обслуживания. В этом случае различают лифты самостоятельного пользования, которыми управляет сам пассажир, и лифты, которыми управляет проводник и которые всегда сопровождают груз.

Разные лифты движутся с различной скоростью. По скорости движения кабины

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

они подразделяются на следующие типы:

- тихо-ходные (до 1,0 м/с);
- быстроходные (от 1,0 до 2,0 м/с);
- скоростные (от 2,0 до 4,0 м/с);
- высокоскоростные (свыше 4,0 м/с).

Относительно типа привода подъемного механизма лифты подразделяются на электрические (с приводом от электродвигателя переменного или постоянного тока) и гидравлические (с приводом в виде подъемного гидроцилиндра или лебедки с гидродвигателем вращательного типа).

В устройстве лифта важна не только механика и принцип движения кабины в пространстве, но также и способы реагирования лифта на поступающие от пользователей запросы. По способу управления лифты различают:

- простое раздельное управление. В данном случае регистрируется и выполняется только одна команда (приказ или вызов);
- собирательное управление, при котором регистрируются все команды, а их выполнение осуществляется в соответствии с программой работы лифта. При этом могут совершаться попутные остановки по вызовам или приказам. Для лифтов жилых зданий попутные остановки по вызовам выполняются только при движении кабины вниз, а в общественных зданиях - в обоих направлениях. По приказам попутные остановки предусмотрены во всех лифтах в обоих направлениях;
- одиночное управление (управление одним лифтом);
- групповое - управление группой лифтов, расположенных в одной шахте, обслуживающих одни и те же этажи и имеющих одинаковую скорость. Разновидностью группового управления является парное управление лифтами, применяемое в жилых зданиях повышенной этажности.

В данной работе будут рассмотрены проблемы группового управления лифтами.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка программного решения, подтверждающего принципиальную возможность и целесообразность построения и использования системы логического вывода в интеллектуальном управ-

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

лении группой лифтов.

В рамках данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- изучить принципы автоматического логического вывода;
- разработать математическую модель интеллектуального управления группой лифтов;
- разработать варианты программной реализации модели интеллектуального управления группой лифтов;
- провести сравнительный анализ полученных программных решений.

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 1 Анализ предметной области

### 1.1 Конструкция лифтов

#### 1.1.1 Общая схема лифта

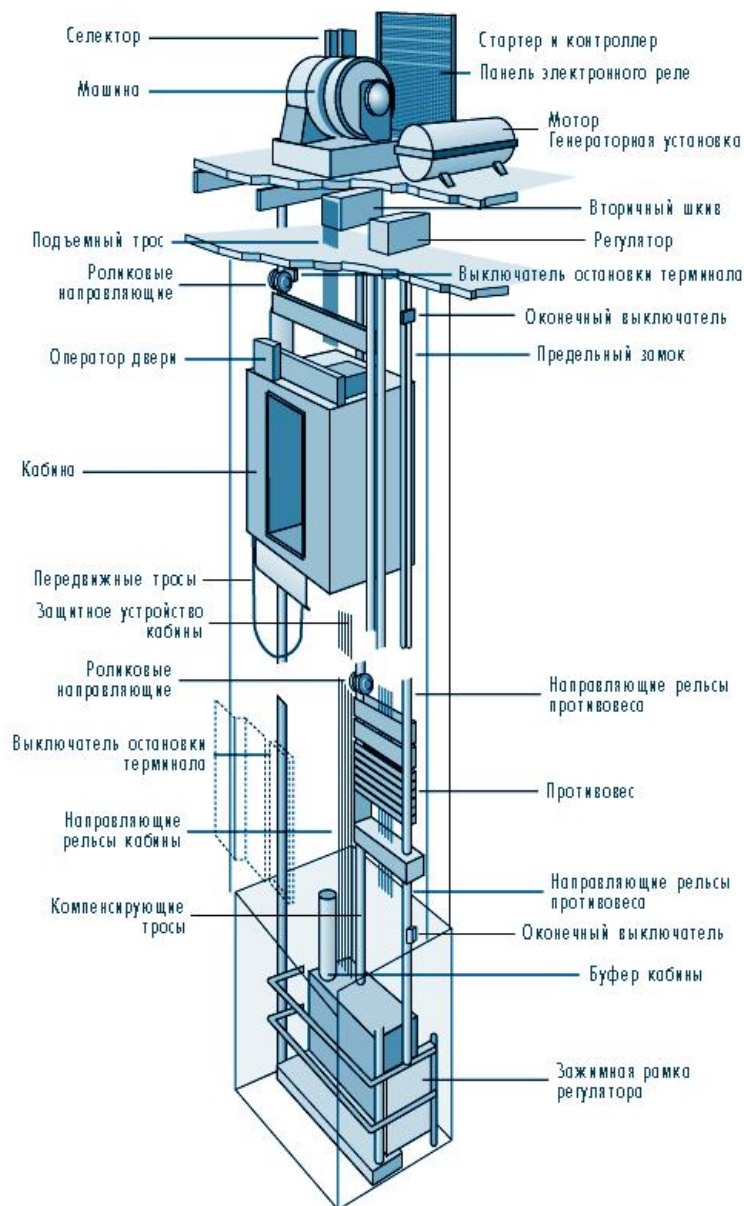
Конструктивные исполнения лифтовых систем могут быть различны. В устройстве любого лифта обязательно присутствуют определенные компоненты, такие как кабина (или платформа), она закрепляется на стальных тросах, перекинутых через шкив приводного механизма, передающего силу с одного места на другое. В машинном отделении в верхней части шахты лифта расположен сам приводной механизм вместе с аппаратурой управления лифтом, куда и передаются сигналы из кабины лифта.

Внутри кабины, а также на этажах, обслуживаемых лифтом, в местах остановки лифта пользователь может выбрать необходимое ему направление движения - выбрать нужный этаж внутри кабины, либо направление вверх или вниз при вызове кабины на этаже. Сигнал, последовавший после нажатия какой-либо кнопки (вызова или приказа), передается на устройство управления лифтом. Устройством отправляется ответное сообщение пользователю, подтверждающее прием команды, после чего устройство направляет кабину в нужном направлении, соответствующем запросу. Помимо приказного поста внутри кабины лифта находится кнопка аварийного вызова, с помощью которой пользователь может в аварийном случае установить связь с управляющим пунктом. Более подробно схематическое строение лифта представлено на рисунке 1.1.

На схеме отображены основные компоненты лифтового оборудования, такие как:

- кабина;
- передвижные тросы;
- противовес;
- генераторная установка;
- подъемный трос;
- направляющие рельсы.

Кабина состоит из пола, стен, потолка, панелей управления. Она может быть па-



Источник: Адаптировано из Otis Elevatory Company

Рисунок 1.1 – Схема устройства лифтового оборудования

норамной, самонесущей, каркасной. В верхней части кабины установлены устройства безопасности – ”ловители плавного торможения устройства подвески кабины, привод дверей. Внутри кабины лифта предусмотрен приказной пост (кнопочное управление для направления лифта на необходимый этаж), электронное табло с указателями, датчики положения дверей, элементы освещения и вентиляторы. На крыше кабины находится электродвигатель, производящий открытие/закрытие дверей кабины. На боковой стене кабины находятся бесконтактные датчики – один для точной остановки и два датчика начала торможения (при движении вверх и вниз). Каждый из них срабатывает при нахождении напротив металлического элемента, распо-

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ

Лист

9

ложенного в шахте лифта между этажами. Количество таких элементов для каждого датчика равно количеству этажей. Вместо данных элементов могут использоваться определенные магнитные ленты, но в таком случае необходимо использовать и магнитные датчики.

Все компоненты лифтового оборудования располагаются в шахте, машинном отделении и на этажах задания. В шахте лифта присутствуют блокировочные выключатели дверей шахты с замками и осветительные устройства. На этажах находятся вызывные посты и электронное табло с указателями. Также лифт оборудован механической блокировкой на каждом этаже, за счёт которой внешняя дверь на этажах, где не кабина не останавливается, открываться не будет.

### 1.1.2 Особенности конструкции лифтов в высотных зданиях

При проектировании лифта в высотном здании некоторые аспекты, которые не играли особой роли в обычном многоквартирном доме, становятся более существенными. Например, в высотных зданиях применяется такой элемент, как компенсационный трос, который не требуется в зданиях небольшой этажности, поскольку масса троса не оказывает существенного влияния на кинематику системы. В зданиях высокой этажности длина троса может составлять несколько сот метров и его массой пренебречь уже не представляется возможным. При этом во время движения кабины лифта масса кабины (кабины с тросом) и масса противовеса изменяется, поскольку сокращаются или увеличиваются соответствующие участки троса. Система становится разбалансированной. Решением данной проблемы является применение компенсационных тросов, которые соединяют противовес и кабину в нижней части.

При движении кабины вверх происходит уменьшение длины участка троса, на котором подвешена кабина, когда как длина участка компенсационного троса внизу кабины увеличивается. При движении вниз происходит наоборот. В таком случае разбалансировки системы не происходит.

Еще одной особенностью лифтов в высотных зданиях является тот факт, что при скоростях движения кабин лифта, превышающих 6 м/с, роль аэродинамики кабины становится более существенной. При этом выделяются два вида конструктивного

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10



исполнения лифтов с точки зрения влияния на аэродинамику. Первый вид подразумевает расположение кабин в одной шахте, и они разделены между собой балками. Второй – каждая лифтовая кабина помещается в отдельную шахту. При реализации второго вида стоит учитывать тот факт, что при движении воздуха в узких промежутках между стенками шахты и кабины возникает шум. По этой причине в высотных зданиях при скоростях движения кабин более 4 м/с рекомендовано использование нескольких кабин, разделенных балками в общей шахте. Если же конструктивные особенности здания этого сделать не позволяют, то в лифтовой шахте реализуются отводы воздуха с перетоками, которые позволяют если не исключить, то хотя бы минимизировать вредные аэродинамические воздействия.

При скоростях лифта выше 6 м/с используются специальные лифтовые кабины, которые имеют аэродинамическую форму, которая подразумевает наличие в верхней и нижней частях кабин обтекателей, позволяющих минимизировать влияние сопротивления воздуха.

## 1.2 Требования к системе управления лифтами

Основными требованиями, предъявляемым к системе управления лифтовым оборудованием является безопасность работы, надёжность, плавность разгона, движения и торможения, точность остановки кабины, минимизация шума во время работы и недопущение помех радиоприему и телевидению. Эти требования необходимо учитывать, как при проектировании системы управления, так и в процессе монтажа и эксплуатации.

Ключевое требование безопасность работы лифта. При его работе есть вероятность возникновения некоторых аварийных ситуаций, таких как превышение скорости перемещения кабины выше допустимой, произвольный пуск лифта, перегрузка кабины, пуск лифта при открытых дверях кабины и/или шахты, обрыв каната либо элементов подвеса. Таким образом, алгоритм, по которому работает система управления, должен предусматривать возникновение подобных ситуаций.

Наилучшим алгоритмом работы является тот, который обеспечивает общедоступность пользования и комфортабельность пассажиров. Общедоступность пользова-

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист 11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ния лифтом предполагает наличие достаточно простой и понятной системы управления движением из кабины и этажных площадок, не требующей специальной подготовки пассажиров всех возрастных групп. Комфортабельность условий перевозки определяется минимальным значением времени ожидания кабины пассажирами на посадочном этаже и перемещения их между этажами.

При этом алгоритм работы системы должен минимизировать расход электроэнергии и при этом не требовать значительных финансовых затрат.

Наиболее распространенный алгоритм должен предполагать:

- исключение направления на этаж вызова более одной кабины;
- выполнение вызова на определенный этаж назначается идущей в нужном направлении не полностью загруженной кабиной. Если таковой нет, ближайшей свободной кабины;
- автоматическое направление первой из освободившихся кабин на этаж наибольшего спроса (обычно - первый), а остальные кабины после освобождения остаются на этажах, на которых они пришли по приказам.

Также необходимо учитывать, что режим работы главного электропривода лифта характеризуется частым включением и отключением. При этом выделяются такие этапы движения:

- разгон электродвигателя до установившейся скорости;
- движение с установившейся скоростью;
- уменьшение скорости при подходе к этажу назначения;
- торможение и остановка кабины лифта на указанном этаже с требуемой точностью.

Наряду с этим имеет место тот факт, что этап движения с установившейся скоростью может отсутствовать, если сумма путей разгона до установившейся скорости и торможения меньше расстояния между этажами отправления и назначения.

Исходя из этого можно заключить, что в зависимости от условий работы целесообразно проектировать систему, в которой реализованы различные скорости движения.

Так, например, в зависимости от назначения рекомендуется применять пассажирские лифты со следующими номинальными скоростями:

- в административных зданиях и гостиницах: до 9 этажей - от 0,7 м/с до 1 м/с; от 9 до 16 этажей - от 1 до 1,4 м/с;
- в административных зданиях от 16 этажей – 1,6 – 4 м/с.

Так как система, разрабатываемая в рамках данной работы, предназначена для двадцатипятиэтажного здания, то примем скорость лифта равно 1,6 м/с. Исходя из таблиц основных параметров и применяемости лифтов в зависимости от вида здания, которые приведены в ГОСТ 5746-2015, примем грузоподъемность равной 1000 кг при вместимости кабины 12 человек, подразумевая, что лифтовое оборудование будет применяться в общественных, административных зданиях или в зданиях промышленных предприятий.

Также к системе управления лифтовым оборудованием предъявляются некоторые требования по пожарной безопасности. В случае возникновения пожара все лифты должны опуститься на главный посадочный этаж и открыть двери (в качестве главного посадочного этажа определён первый). В таком состоянии лифты блокируются до тех пор, пока не будет отключена система пожарной безопасности.

### 1.3 Системы управления лифтами

Лифтовые механизмы подъема различаются по типам электроприводов.

Одним из типов является нерегулируемый привод, в котором используется одно- и двухскоростные двигатели переменного тока. Такой привод используется в тихоходных лифтах с достаточно низкими требованиями к точности остановки кабины.

Другим типов привода является двухскоростной асинхронный привод. В нем используют двигатель с короткозамкнутым ротором и двумя статорными обмотками большой и малой скорости.

Также существует регулируемый привод постоянного тока, обеспечивающий аналогичные условия и использующийся при формировании схемы движения кабины лифта, близкой к оптимальной, и имеющий высокую точность остановки кабины.

В современных лифтовых устройствах используются два принципа управления:

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

замкнутый и разомкнутый. При использовании разомкнутого принципа управление приводом лебедки происходит с помощью сигналов, формируемых в логической управляющей системе. В данном случае не учитываются возможные изменения параметров лифта (лебедки и кабины) в процессе работы.

При замкнутом принципе система позволяет учитывать все возможные изменения параметров и управлять приводом согласно сигналам, направленных от логической управляющей системы, более того, она позволяет учитывать результаты функционирования привода. Такая система управления дает возможность увеличить точность остановки, повысить плавность движения кабины.

По видам функционального управления движением кабины лифты подразделяются на следующие типы:

- внутренняя кнопочная система, осуществляющая вызов пустой кабины на любой этаж;
- внутренняя кнопочная система, осуществляющая вызов пустой кабины на любой этаж, при этом совершая попутные остановки по вызовам при движении кабины вниз;
- внутренняя кнопочная система, осуществляющая вызов пустой кабины на любой этаж, с попутными остановками по вызову при движении кабины вниз, с использованием группового управления;
- собирательная внутренняя кнопочная система, осуществляющая вызов пустой кабины на любой этаж, с попутными остановками по вызову при движении кабины в любом направлении;
- собирательная внутренняя кнопочная система, осуществляющая вызов пустой кабины на любой этаж, с попутными остановками по вызову при движении кабины в любом направлении, а также с использованием группового управления.

Самый простой вид управления, осуществляющий вызов пустой кабины на любой этаж, применяется для пассажирских лифтов грузоподъемностью до 320 кг, которые устанавливаются в жилых домах средней этажности (9-12 этажей). Как правило такие лифты монтируются по одному в подъезде, реже - по два в одной или

рядом расположенных шахтах.

Все остальные виды управления используются для пассажирских лифтов грузоподъемностью 320-500 кг, устанавливаемых в домах повышенной и большой этажности (16 этажей и более), а также в административных зданиях. Такие лифты обычно монтируются по два и более в одной или рядом расположенных шахтах и работают в системе парного или группового управления.

#### 1.4 Системы управления группой лифтов

На сегодняшний день существует большое количество систем управления лифтами, в числе которых есть как системы релейного типа, характерные для старых построек, так и системы, на основе микропроцессорной техники. Все системы управления можно разделить на два типа в зависимости от их структуры: централизованные и распределенные.

##### 1.4.1 Централизованные системы группового управления лифтами

Система данного типа подразумевает наличие одного главного (центрального) контроллера, который размещается в станции управления и обеспечивает функционирование системы управления в целом. В некоторых случаях возможно применение небольших локальных плат или контроллеров, обеспечивающих какие-либо примитивные функции управления, но, в основном, их функции сводятся к формированию сигналов для отправки на центральный пост управления и локальному распределению управляющих сигналов.

Примером такой системы может являться станция управления лифтами, разработанная компанией STEP Electric Corporation. Данная станция разработана на основе технологии централизованного группового управления, при этом групповой контроллер производит определение места расположения лифтовой площадки, регистрацию и обработку команд, которые могут быть получены как от индивидуальных контроллеров лифтов, так и напрямую от устройств, расположенных в кабинах или на этажах.

Достоинствами централизованной системой управления является высокий уро-

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

вень планирования и контроля функционирования системы. Однако при сложной системе могут проявиться некоторые недостатки:

- возникновение, так называемого, «эффекта бутылочного горла», когда обработка информации и выдача управляющего воздействия могут быть продолжительными по времени по причине перегрузки центрального пункта управления.
- увеличение длительности «цикла управления» из-за отдаленности места принятия решений от места их исполнения.
- большое количество проводов, поскольку все сигналы необходимо направить на центральный пост управления.

По состоянию на сегодняшний день в мировой лифтовой индустрии наблюдается отказ от централизованных систем управления и перехода к децентрализованным (распределенным).

#### 1.4.2 Распределенные системы управления лифтами

Значительное снижение цен на микропроцессоры и полупроводниковые микросхемы и приборы, и столь же существенное увеличение производительности микропроцессоров, наблюдаемые на протяжении нескольких лет, сделали актуальными и рентабельными распределенные системы и системы реального времени на базе микроконтроллеров.

Недостатки централизованного управления могут быть скомпенсированы применением распределенной системы, которая характеризуется наличием ряда иерархически, функционально, структурно связанных контроллеров.

В такой системе управление децентрализовано и добавление нового контроллера в сеть системы не ограничено при условии ее грамотной организации. При этом общая задача управления разбивается на несколько подзадач, выполнение каждой из которых производится отдельный контроллером. Решение этих задач выполняется одновременно.

При этом интеграция новых устройств как собственного производства, так и других производителей становится более реализуемой, а аппаратные решения более эффективными – добавление дополнительного функционала решается использовани-

ем дополнительных пунктов контроля и управления (контроллеров).

В качестве примера данной структуры может служить система управления грузопассажирским лифтом, которая была разработана компанией Элеси.

Система выполнена как распределенная на современной элементной базе, как следствие экономия кабельной продукции и повышение надежности функционирования.

Ключевыми достоинствами систем данного типа является сокращение числа проводов, возможность оперативно адаптации системы к частным условиям и требованиям за счет соответствующего распределения программного обеспечения, повышенная помехоустойчивость системы программным способом без применения специальных средств.

Недостатками этой системы может являться то, что групповое управление лифтами может сводиться лишь к оповещению контроллеров других лифтов о выполнении какой-либо операции, что объясняется отсутствием единого центра диспетчеризации. Другими словами, организация эффективного алгоритма управления в ней ставится под вопрос.

Еще одним примером распределенной системы управления лифтами могут быть системы управления ЛиРа. Данная система имеет в своем составе центральный шкаф управления для выполнения диспетчеризации и множество плат, используемых под каждую конкретную функцию, среди которых есть плата телефонной связи, плата тормоза, плата ключей и так далее.

Достоинства и недостатки данной системы вытекают из ее строения. С одной стороны, широкий выбор специализированных плат даёт возможность собрать систему любой необходимой конфигурации. С другой, большое количество плат может сделать систему сложной и неудобной для монтажа и последующего обслуживания.

### 1.5 Методы управления группой лифтов

В зависимости от принятой системы управления лифты могут работать индивидуально, в паре или в группе.

При индивидуальной работе действие одного лифта не влияет на действие друго-

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

го. Для индивидуально работающих лифтовых установок характерны свойства:

- системы вызовов на таких установках действуют только на один лифт;
- одиночное управление, как правило, применяется для обслуживания зданий с небольшим числом этажей.

При парной или групповой работе лифты действуют независимо друг от друга. Такая система предназначена для тех случаев, когда одиночная установка лифта недостаточна для обеспечения пассажиропотока и в здании устанавливают два лифта, обслуживающие одни и те же этажи. Системы парного управления обеспечивают такую согласованную работу двух лифтов с общей системой вызовов, при которой достигается максимальная производительность их и минимальное время ожидания.

Групповая система управления применяется при групповой установке лифтов в крупных общественных и административных зданиях, когда имеют место напряженные пассажиропотоки и парные установки не обеспечивают требуемой производительности. Групповая установка применяется с числом лифтов от трех до четырех.

В общем виде программа работы одного или группы лифтов сводится к отработке кабинами отдельных команд: вызовов, приказов и др. Программы работ в разных режимах для наиболее массовых типовых пассажирских лифтов жилых зданий приводятся в техническом описании принципа действия их электрических схем.

Система вызовов на групповых лифтах так же, как и на парных, общая для всей группы совместно работающих лифтов, то есть устанавливается только одна вызывная кнопка на этаже. Кроме того, групповые лифты оборудованы специальным автоматическим устройством организации совместной работы лифтов.

В системах группового управления предусматриваются утренний, дневной и вечерний режимы работы. Эти режимы задаются диспетчером или устанавливаются автоматически в зависимости от направленности и напряженности пассажиропотока в здании.



## 1.6 Алгоритмы управления лифтами

Алгоритм работы системы управления состоит из основного алгоритма, алгоритма подпрограмм, реализующих различные режимы работы системы управления (ре-визии, деблокировки, управления из машинного помещения, нормальной работы, пожарной опасности), и алгоритмов дополнительных подпрограмм, реализующих типовые действия, производимые в режиме нормальной работы (движение лифта по приказу, остановка кабины на этаже).

Система управления лифтом обеспечивает выполнение требований пассажиров – приказы из кабины или запросы с этажей, при этом решая спектр задач, которые связаны с определением направления движения в зависимости от взаимного расположения этажа, на котором находится кабина лифта, и требуемого этажа, с остановкой кабины на указанном этаже, с необходимостью обеспечения безопасного для пасса-жиров работы лифта, а также, связанных с различными режимами работы лифта.

Первые лифты не были рассчитаны на обработку одновременно нескольких за-просов. Выполнение запросов производилось только последовательно, каждый по-следующий запрос мог быть произведен только после выполнения предыдущего, даже если вызовы являлись попутными. Такой вид управления подъёмником назы-вается последовательным. Эта схема управления обеспечивает наиболее простую реализацию схемы управления, но пропускная способность лифта при этом невели-ка. Несмотря на это, в некоторых случаях её реализация производится и в настоящее время. Например, такая схема управления применяется в грузовых и больничных лифтах, а также в пассажирских лифтах для зданий малой и средней этажности. Дан-ная схема управления подразумевает, что все запросы пользователей фиксируются и исполняются последовательно. В случае поступления одновременных запросов ко-манды, которые поступают из кабины лифта являются приоритетными, то есть лифт в первую очередь доставляет пассажира на требуемый этаж и только после этого пе-ремещается на этаж, с которого был произведен следующий вызов (запрос).

Следующим этапом развития в данной области стала собирательная схема управ-ления. Она получила обширное распространение в жилых зданиях, в которых при-

меняется односторонняя собирательная система при движении вниз. Лифт, производящий движение вниз, опускаясь на первый этаж, делает остановки в соответствии с запросами от пассажиров с этажей, совершая, таким образом, сбор пассажиров. При движении в обратном направлении (снизу-вверх) обрабатываются только запросы из кабины, а запросы с этажей игнорируются. Это связано с тем, что необходимость в перемещении жителей домов с одного этаж на другой возникает очень редко. На аппарате вызова лифта с такой схемой управления располагается только одна кнопка.

Несколько позже в офисных зданиях и гостиницах стала применяться двусторонняя собирательная система, которая обрабатывает запросы с этажей при движении в обоих направлениях. Вызывной аппарат лифтов, работающих по данной схеме управления имеет две кнопки – вверх и вниз. При вызове производится не только указание необходимого этажа, но и требуемое направления движения. Данное усложнение схемы управления обосновывается увеличением пропускной способности лифта. Сегодня такая схема управления очень распространена в различных типах зданий. В зданиях с большим количеством этажей и интенсивными пассажиропотоками устанавливают несколько лифтов (группу лифтов). При этом возникает потребность согласования работы лифтов в группе по вызовам, задачами которого являются повышение производительности лифтов, уменьшение времени ожидания кабины пассажирами, сокращение (или полное отсутствие) количества холостых пробегов и связанное с этим уменьшение износа лифтов и расхода энергии. Данные задачи решаются системами группового управления лифтами с применением диспетчеризации.

Стоит также отметить, что групповое размещение даёт возможность для повышения качества лифтового обслуживания при существенной экономии капитальных затрат за счет использования общего машинного помещения. Также существенно снижаются затраты на проведение технического обслуживания. На протяжении длительного периода времени без собирательные, односторонние и полные собирательные схемы управления применялись в большинстве зданий, какие-либо принципиально новые решения в системе управления не производились. В это время совер-

шенствование схем управления двигалось по пути, как уже говорилось, минимизации времени ожидания кабины лифта, что производилось за счет оптимизации схем работы лифтовых групп. Известно, что существовали решения на базе нейросетевых технологий. Данные решения приносили определенный эффект.

Один из прогрессивных алгоритмов управления группой лифтов был разработан в американской компании Otis Elevator, подразумевающий, что каждый пассажир перед посадкой указывает необходимый для него этаж. В соответствии с этим система сообщает в какой лифт садиться и через какой промежуток времени пребудет кабина. При этом на каждой посадочной площадке устанавливается приказная панель, аналогичная той, которая расположена в кабине лифта. При оптимизации движения лифтов в качестве целевой функции принимается количество остановок, которые делает кабина лифта и данную величину необходимо минимизировать. Таким образом, чем меньше кабина делает остановок, тем быстрее она возвращается на главный посадочный этаж, при этом за счёт меньшего количества попутных остановок происходит существенная экономия электроэнергии и сокращение времени кругового рейса кабины лифта.

Посадка пассажиров близких этажей производится в один лифт с целью минимизации времени поездки и уменьшения количества остановок.

Достаточно большое распространение в системах управления группой лифтов получил круговой алгоритм управления. Его преимуществами является простота реализации, равномерное распределение нагрузки между лифтами в группе, а также обеспечение выполнения требований пассажиров на приемлемом уровне при сравнительно не интенсивном пассажиропотоке. Основной целью круговой системы при диспетчерском управлении группой лифтов является достижение равной загрузки каждого лифта. Вызовы распределяются по мере их поступления последовательным образом по отдельным лифтам. Вызов 0 назначается к обслуживанию кабиной 0, вызов 1 – кабиной 1, вызов L – кабиной 0, вызов L+1 – кабиной 1 и так далее.

Частным случаем кругового алгоритма представляет собой диспетчерское управление при максимальном потоке пассажиров вверх, отличием которого является ис-

пользовании особой стратегии движения. Данная стратегия заключается в том, что, если групповой контроллер обнаруживает простаивающий лифт, он производит инициализацию вызова на первый этаж для уменьшения времени ожидания будущих пассажиров.

Алгоритм трех переходов, представленный Ронгом и Хаконеном в 2003 году, используется для определения последовательности обслуживания вызовов с этажей.

Алгоритм разбивает все вызовы на 3 категории:

- вызовы, которые лифт может обслужить без изменения направления движения;
- вызовы, которые лифт может обслужить после того, как один раз изменит направление движения;
- вызовы, которые лифт может обслужить после того, как дважды изменит направление движения.

Приоритет выполнения вызовов убывают от первой группы к третьей.

В некоторых случаях используют идею зонирования высотных зданий по вертикали, которая заключается в разделении здания на несколько прилегающих друг к другу зон и каждый из лифтов обрабатывает вызовы с этажей только зоны, назначенной для обслуживания данным лифтом.

Как правило, разделение здания на зоны с целью оптимизации движения лифтов производится в высотных административных зданиях, но данная концепция может также применяться и для обычных жилых здания. Оптимизация данной стратегии проводится при помощи правильного определения размеров выделяемых зон, при этом могут быть учтены такие параметры как численность жильцов на этажах, а также некоторые приоритеты обслуживания каких-либо этажей, которая определяется на основе набора условий, определяемых отдельно в каждом конкретном случае.

Также применение идеи зонирования позволяет использовать технические этажи для размещения машинных помещений для лифтов, что сокращает потери полезной площади здания. Размещение оборудования на технических этажах позволяет уменьшить затраты на решение проблемы защиты от шума и вибраций, хотя на текущий момент данная потребность не является актуальной, так как в настоящее время

производители лифтового оборудования выпускают изделия, отличающиеся достаточно низким уровнем шума.

В процессе развития алгоритмов управления лифтов в составе группы кроме детерминированных классических стратегий появились динамические стратегии автоматизированного управления лифтами. В рамках данных стратегий существуют подходы, которые позволяют произвести переход от жестких схем управления к гибким, способным подстраиваться к изменениям условий в процессе функционирования (изменение интенсивности пассажиропотока или выход из строя лифтов в составе лифтовой группы).

Одной из таких является стратегия на основе поиска, сущность которой заключается в нахождении оптимального решения при каждом новом возникающем событии (например, вызове с этажа), при этом формируется определённая реакция на данное событие.

Алгоритм поиска производит решение задачи назначения, которая заключается в распределении зафиксированных вызовов между лифтами в группе с учётом команд, которые произвелись из кабины лифта. Если количество свободных лифтов больше числа произведённых вызовов, то алгоритм распределит их в соответствии с определенными критериями. В случае, если количество вызовов превышает количество свободных лифтов, то из множества заявок будут выделены те, обслуживание которых обеспечит минимум целевой функции, например, среднее время ожидания.

Недостатком данной стратегии является статичность в интервале формирования решений, что означает тот факт, что новые вызовы, которые поступили после назначения не имеют возможности изменить решение системы управления. Для нивелирования данного недостатка применяется переопределение управляющего воздействия, которое подразумевает корректировку решения согласно с новой текущей ситуации. Стоит отметить, что данное решение существенно повышает вычислительную сложность алгоритма. По этой причине данный метод целесообразно применять при достаточно высокой плотности пассажиропотока и когда другие подходы не дают существенного повышения эффективности.

Большое количество алгоритмов управления, которые реализуются на базе контроллеров, относятся к стратегии, описываемой набором правил в терминах «IF-THEN» логики. Такие правила составляются на основе опыта, полученного в процессе функционирования системы или сформулированных по результатам соответствующих научных исследований. Данное решение, как правило, используется в области искусственного интеллекта, но может быть применено также в системах управления лифтовым оборудованием, оснащенной множеством датчиков.

Использование нечеткой логики может существенно расширить возможности методов, основанных на определении правил, и повысить уровень вариативности системы управления, увеличивая число степеней свободы путем повышения уровня детализации условия в сравнении со стандартной бинарной логикой.

Наряду с этим имеется возможность решать задачи управления при помощи применения генетических алгоритмов, которые подразумевают имитацию процесса эволюции – гены родителя наследуются потомками.

В системах с применением искусственного интеллекта генетические алгоритмы рассматриваются как совокупность отдельных шагов. Для имитации процесса эволюции требуется создать множество правил, на основе которых формируются промежуточные решения.

Из этого множества может быть сформирован алгоритм управления, при этом начальный родительский алгоритм-ген может быть сформирован случайным образом. Сам же процесс эволюции в этом случае представляет собой «слияние» генов получение в итоге гена-потомка – определенного решения. Перед «слиянием» производится определение перспективности смешиваемых алгоритмов путем проведения экспериментов, направленных на определение эффективности алгоритмов и обеспечения взвешенного выбора правил. Таким образом, алгоритмы с каждой итерацией будут совершенствоваться, приближаясь к некоторому идеалу и после окончания итераций будет получен некоторый усовершенствованный алгоритм управления.

Один из недостатков генетических алгоритмов заключается в их высокой трудоемкости, обусловленная итерационным характером реализации данных алгоритмов.

Использование для вычисления параллельных структур, таких как, например, программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), снижает влияние данного недостатка. Но более критичным недостатком является тот факт, что эффективность алгоритма определяется исходным набором правил, если в числе которого нет некоторого правила, то данное правило никогда не появится в порожденных алгоритмах.

Стоит сделать замечание, что при применении динамических стратегий управления их эффективность во многом будет зависеть от числа «степеней свободы», которыми обладает система, например, количество лифтов в составе лифтовой группы.

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

## 2 Постановка задачи

Целью данного исследования является выявление принципиальной возможности и целесообразности построения и использования системы логического вывода в рассматриваемой задаче. Поэтому оправданы все упрощения, которые неизбежны при построении моделей и переходе к реальному приложению.

### 2.1 Упрощения

Первым основным упрощением является дискретность времени с заданной величиной интервала между соседними моментами времени (тактами), содержащее начальный момент и бесконечно продолжимое вправо. Высота этажей считается одинаковой, и скорость движения лифта с одного этажа на другой полагаем равной одному такту. Длительность остановки кабин для входа-выхода пассажиров равняется одному такту. Так же не рассматриваются случаи переполнения кабин.

Считается, что любой пассажир придерживается следующим правилам:

- 1) Для вызова лифта он нажимает на этаже кнопку вызова и ждёт кабину, без ложных и ошибочных вызовов;
- 2) Войдя в кабину, пассажир задаёт ей команду, для чего он нажимает кнопку нужного этажа, который вносится в маршрут данной кабины, без ложных и ошибочных команд.

Простейшим алгоритмом принятия решения является поиск ближайшей кабины к месту вызова. Однако, термин «ближайшая» требует уточнения и рассмотрения примера.

Допустим, есть система из  $k = 2$  кабин, способных перемещаться по  $n = 5$  этажам. Пусть кабины находятся на 1-м и 2-м этажах, первая пуста и находится в покое, а второй предстоят остановки на 3-м и 4-м этажах. Поступает вызов с пятого этажа, и первая кабина получается ближайшей, так как её требуется 4 такта, а второй кабине требуется 5 тактов. Получается дистанция – это количество тактов, которое необходимо кабине, чтобы добраться до этажа, выполняя уже сформированный маршрут (рисунок 1).

Есть и другой подход, который основывается на исключении худших альтерна-

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



тив на основе логического вывода. И если после сокращения допустимых альтернатив их останется несколько, то выбор может быть случайным или основываться на каких-либо критериях. В этом и предыдущих подходах одним из основных критериев является средняя длительность ожиданий.

### 2.1.1 Логическая модель

Выстраивая логическую модель, получаем тройку  $(F, S, V)$ , где  $F$  – это позитивно образованная формула (ПОФ), описывающая состояние лифта и принципы, по которым функционирует лифт,  $S$  – порядок ответов на запросы при логическом выводе,  $V$  – внешние воздействие, в данном случае имитация пассажиропотока. Так же следует отметить, что одними из основных будут предикаты связанные со временем:  $T(t)$  – момент времени  $t$  и  $N(t, t')$  – следующий за  $t$  момент времени  $t'$ .

Основными объектами в данной модели являются кабина  $Cab$  и человек  $Man$ . В момент времени  $t$  кабина имеет вид  $Cab(i, e, S, t)$ , где  $i$  – идентификатор кабины,  $e$  – этаж, а  $S$  – маршрут кабины, список этажей. Человек имеет вид  $Man(e, d, \tau, t)$ , где  $e$  – этаж,  $d$  – целевой этаж, который добавляется в маршрут  $S$  в момент входа человека в кабину и  $d \neq e$ ,  $\tau$  – длительность ожидания человеком кабины. Дистанцией же будет  $Dist(e, S, i, t, \alpha)$ , где  $\alpha$  – это дистанция от кабины  $i$  на этаже  $e$  с маршрутом  $S$ , где произошёл вызов. И связь  $i$  кабины с вызовом с  $e$  этажа  $Conn(i, e)$ .

В каждый момент времени  $t_0$  принятия решения формула  $F$  имеет вид:

$$\exists A(t_0) \left\{ \begin{array}{l} \forall T(t) \exists T(t'), N(t, t'), \\ \Phi \\ \Psi \end{array} \right.$$

$A(t_0)$  – конъюнкт, описывающий состояние системы в момент времени  $t_0$ . Если  $A(t_0)$  содержит  $Man$ , то появление человека необходимо связать с вызовом определённой кабины. И группа формул  $\Phi$  порождает все варианты связи и имитирует движение кабин совместно с формулой времени  $\forall T(t) \exists T(t'), N(t, t')$  для некоторого количества тактов. А за счёт формул  $\Psi$  происходит фильтрация некоторых вари-

антов.

Оставшиеся варианты оцениваются и выбирается один из самых наилучших.

Группа формул  $\Psi$

$$\forall Man(e, d, , t), N(t, t') \exists Dist(e, S_1, 1, t, \alpha_1), \dots,$$

$$Dist(e, S_k, k, t, \alpha_k) \left\{ \begin{array}{l} \exists Conn(1, e) \\ \dots \\ \exists Conn(k, e), \\ \exists Man(e, d, + 1, t') \end{array} \right.$$

– формула вычисляющая дистанцию до каждой кабины при новом появлении человека

$$\forall Cab(i, e, S, t), Conn(i, e'), N(t, t') \left\{ \begin{array}{l} \forall e' < e \exists Cab(i, e - 1, S/e', t') \\ \forall e < e' \exists Cab(i, e + 1, S/e', t') \end{array} \right.$$

$$\forall Cab(i, e, S, t), S = S(e', S_1), N(t, t') \left\{ \begin{array}{l} \forall e = e' \exists Cab(i, e - 1, S_1, t') \\ \forall e' < e \exists Cab(i, e - 1, S, t') \\ \forall e < e' \exists Cab(i, e + 1, S, t') \end{array} \right.$$

$$\forall Cab(i, e, null, t), N(t, t') \exists Cab(i, e, null, t')$$

– формулы реализующие движение, где  $S/e$  является операцией вставки этажа в маршрут.

Группа формул  $\Phi$

Формулы из группы  $\Phi$  реализуют дополнительные ограничения, которые следует учитывать при построении логического вывода. В дальнейших работах они использоваться не будут. Но упомянуть о них крайне необходимо, так как они дают возможность данной модели быть более гибкой к различным ситуациям. А также их добавление в разрабатываемую систему не будет сложной задачей.

Например, вот формула, которая запрещает откладывать связывание вызова лифта человеком более, чем на 4 такта:

$$\forall Man(e, d, 4, t) \exists False$$

Это правило необходимо, в том случае если в модели будет возможна отсрочка принятия решения на вызов лифта.

## Итоги

Таким образом определяется функция F. Её реализация будет выполнена на языке Prolog. Перевод из приведённых выше формул возможен по примеру из теоретической части.

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### 3 Моделирование и анализ

#### 3.1 Используемые технологии

Для реализации вычисления позитивно образованных формул подошёл декларативный язык программирования общего назначения Prolog. При помощи этого языка, можно реализовать рассмотрение множества вариантов обхода дерева формулы.

##### 3.1.1 SWI-Prolog

Prolog – один из старейших и все еще один из наиболее популярных языков логического программирования, хотя он значительно менее популярен, чем основные императивные языки. Он используется в системах обработки естественных языков, исследованиях искусственного интеллекта, экспертных системах, онтологиях и других предметных областях, для которых естественно использование логической парадигмы.

Prolog был создан под влиянием более раннего языка Planner и позаимствовал из него следующие идеи:

- обратный логический вывод (вызов процедур по шаблону, исходя из целей);
- построение структура управляющей логики в виде вычислений с откатами;
- принцип “отрицание как неудача”;
- использование разных имен для разных сущностей.

Главной парадигмой, реализованной в языке Prolog, является логическое программирование. Как и для большинства старых языков, более поздние реализации, например, Visual Prolog, добавляют в язык более поздние парадигмы, например, объектно-ориентированное или управляемое событиями программирование, иногда даже с элементами императивного стиля.

Prolog использует один тип данных, терм, который бывает нескольких типов:

- атом — имя без особого смысла, используемое для построения составных термов;
- числа и строки такие же, как и в других языках;

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- переменная обозначается именем, начинающимся с прописной буквы, и используется как символ-заполнитель для любого другого термина;
- составной терм состоит из атома-функтора, за которым следует несколько аргументов, каждый из которых в свою очередь является атомом.

Программы, написанные на чистом Prolog, описывают отношения между обрабатываемыми сущностями при помощи клауз Хорна. Клауза — это формула вида Голова :- Тело., которая читается как “чтобы доказать/решить Голову, следует доказать/решить Тело”. Тело клаузы состоит из нескольких предикатов (целей клаузы), скомбинированных с помощью конъюнкции и дизъюнкции. Клаузы с пустым телом называются фактами и эквивалентны клаузам вида Голова :- true. (true — не атом, как в других языках, а встроенный предикат).

Другой важной частью Prolog являются предикаты. Унарные предикаты выражают свойства их аргументов, тогда как предикаты с несколькими аргументами выражают отношения между ними. Ряд встроенных предикатов языка выполняют ту же роль, что и функции в других языках.

В качестве реализации языка Prolog был выбран SWI-Prolog. В данной реализации имеются необходимые функционал, а именно предикаты nb\_getval, nb\_setval и nb\_current. Эти предикаты позволяют использовать другие предикаты в качестве глобальных переменных, что позволяет существенно упростить написание правил для вычисления.

SWI-Prolog — это свободная (открытая) реализация языка программирования Prolog, часто используемая для преподавания и приложений Semantic Web. Эта реализация представляет богатый набор возможностей, библиотеки для constraint logic programming, многопоточности, юнит-тестирования, интерфейс к языку программирования Java, ODBC и т. д., поддерживает литературное программирование, содержит реализацию веб-сервера, библиотеки для SGML, RDF, RDFS.

### 3.1.2 SimPy

Так же было разработано программное решение на языке python с использованием фреймворка SimPy. Который позволил за короткий срок реализовать программное решение для проведения различных тестов.

SimPy - это Python фреймворк процессо-ориентированной дискретно-событийной системы моделирования. Его диспетчеры событий основаны на функциях-генераторах Python.

Также они могут использоваться для создания асинхронных сетей или для реализации мультиагентных систем (с как моделируемым, так и реальным взаимодействием).

Процессы в SimPy - это просто Python генераторы, которые используются для моделирования активных компонентов, например, таких как покупатели, транспортные средства или агенты. SymPy также обеспечивает различные виды общих ресурсов для моделирования точек с ограниченной пропускной способностью (например, серверов, касс, тоннелей). Начиная с версии 3.1, SimPy также будет обеспечить возможности мониторинга для помощи в сборе статистических данных о ресурсах и процессах.

SymPy представляет собой открытую библиотеку символьных вычислений на языке Python. Цель SymPy - стать полнофункциональной системой компьютерной алгебры (CAS), при этом сохраняя код максимально понятным и легко расширяемым. SymPy полностью написан на Python и не требует сторонних библиотек.

SymPy можно использовать не только как модуль, но и как отдельную программу. Программа удобна для экспериментов или для обучения. Она использует стандартный терминал IPython, но с уже включенными в нее важными модулями SymPy и определенными переменными.

### 3.1.3 Дополнительный инструментарий

В процессе реализации было создано порядка десяти файлов с описанием правил логического вывода общей суммой порядка тысячи строк. Такое большое количество

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

ство правил обусловлено наличием деталей и нюансов.

Как и в любом развивающемся программном решении возникает потребность вести учёт версий данного программного решения. Для этих целей использовалась система контроля версий Git. Что позволило не только вести учёт версий программной реализации, но и размещать разрабатываемые материалы на публичном репозитории.

В качестве среды разработки использовался Vim. Данный инструмент позволяет адаптировать его под любой язык программирования, так же в свободном доступе имеются расширения для Prolog, Python, Git и так далее.

### 3.2 Реализация программного решения

Для реализации поставленной цели была необходимость в решении двух задач:

- реализация среды, в которой должна происходить работа системы управления;
- реализация системы, которая должна посредством доказательства теоремы выполнять управление группой лифтов, тем самым обслуживая поступающие в течении времени запросы.

Выполнение обеих задач на языке высокого уровня было бы не корректно, так как подобные языки не являются декларативными, что делает наделение системы управления интеллектуальностью значительно усложняет задачу. Но и реализация среды на языке Prolog является не совсем удачно идеей, так как это увеличит количество потребляемых ресурсов. Однако реализовывать эти задачи на разных языках, а потом настроить совместную работу этих решений, является непростой задачей, которая займёт достаточно много времени. Поэтому было принято решение обе задачи реализовать на языке Prolog, так как основной целью работы является разработка интеллектуальной системы управления. Более того, правила для описания среды можно использовать в построении логического вывода.

В процессе работы поставленные задачи были решены разными способами:

- реализация на языке Python;
- реализация на языке Prolog.

Хоть и целесообразность использования языка Prolog понятна, реализация на Python

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист 33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

будет необходима для сравнения обоих решений. А сам язык Python достаточно прост и обладает большим количеством решений для моделирования различных сред, в данном случае используемым решением является библиотека SimPy.

### 3.2.1 Описание реализации на SimPy

Данная реализация системы управления группой лифтов с ограниченным количеством кабин и несколькими людьми, которые приходят для попадания с одного этажа на другой. В данной системе используется ресурс для моделирования ограниченного количества кабин. Он также определяет процесс выбора кабины и перевозку ей человека.

Когда человек появляется рядом с шахтой лифта, он вызывает первую из свободных кабин. Как только он его кабина забирает, время ожидания человека прекращается. Он, наконец, добирается до нужного этажа и уходит.

После старта системы начинается генерация людей, они появляются после случайного интервала времени, пока продолжается симуляция.

При том, что данная программа является многопоточной, стоит отметить тот факт, что здесь используются общие ресурсы. Эти ресурсы могут использоваться для ограничения количества процессов, использующих их одновременно. Процесс должен запрашивать право использования ресурса. Как только право на использование больше не требуется, оно должно быть выпущено. Данная система смоделирована как ресурс с ограниченным количеством кабин. Люди прибывают к кнопке вызова кабины и просят выполнить перевозку на другой этаж. Если все кабины заняты, человек должен ждать, пока один из пассажиров не закончит поездку и не освободит кабину.

Данная реализация получилась достаточно простой, весь исполняемый скрипт поместился в один файл. Листинг того файла размещён в приложении А. Из листинга видно, как с помощью библиотеки SimPy было выполнено управление общими ресурсами (кабинами). Это выполнялось при помощи функции Resource. Также можно заметить как выполнялся запрос на резервирование общих ресурсов:

```
with elev.cab.request() as request:
    yield request
```



```
info('%s is moving' % (man.name), env)
yield env.process(elev.moving(man))
```

Таким образом было реализовано и ожидание ресурса, если тот на время появления запроса занят.

### 3.2.2 Ведение журнала о выполнении программы

Так как разрабатываемые реализации не обладают графическим интерфейсом, очень важно обратить внимание на разработку журнала программы. Посредством разработанных журналов можно детально изучить особенности выполнения программных решений и сделать выводы о корректности работы.

Информация в журнале разделяется на следующие типы:

- INFO – некоторая информация о ходе выполнения или некоторые оповещения;
- TRACE – трассировка программы, позволяет отследить, через какие состояния прошла программа;
- DEBUG – подробная информация о протекающих процессах, данная информация достаточно объемная, поэтому подобная информация выводилась только при отладке программ;
- WARNING – важные предупреждения, которые помогают выявить критичные участки кода, которые могут вести к некорректной работе;
- ERROR – информация о критичных ошибках в выполнении программы. Эта информация помогает быстро исправлять ошибки в коде.

Так же реализована возможность задавать уровень ведения журнала, которая позволяет не захламлять журнал, если нет необходимости в подробной информации. Например, для иллюстрации журнала в отчётах отладочная информация не нужна, или для проведения тестов достаточно получать предупреждения и информацию о результатах проведения теста.

В процессе разработки ведения журнала было выделено четыре уровня:

- вывод только предупреждений и информации об ошибках;
- предупреждения, ошибки и оповещения;
- предупреждения, ошибки, оповещения и трассировка;

– предупреждения, ошибки, оповещения, трассировка и отладочная информация;

Сама же запись в журнал имеет следующую структуру. Первые четыре столбца в журнале – это реальное время журналирования момента модуляции. Следующим столбцом идёт связка двух чисел, первое число - это номер процесса, он необходим для идентификации сессии, а второе число показывает момент времени модуляции. А дальнейшая информация передаёт сообщения записываемые программой.

### 3.2.3 Пример работы реализации на SimPy

Данный пример иллюстрирует работу группы лифтов, где их количество равно 2, в здании с 30 этажами. В ходе работы системы появятся люди в случайные моменты времени на случайных этажах этажах, и у каждого человека целью является добраться на другой этаж.

Изначально первая кабина находится на первом этаже  $e_0$ , а вторая на втором  $e_1$ .

Ниже приведён лог показывающий работу системы:

```
19 May 2018 16:00:58 [51:null] Session end
23 May 2018 21:41:15 [23:null] Start session
23 May 2018 21:41:15 [23:0] Man 0 appears on floor '0', target '24'
23 May 2018 21:41:15 [23:0] Man 0 is moving
23 May 2018 21:41:15 [23:12] Man 1 appears on floor '14', target '5'
23 May 2018 21:41:15 [23:12] Man 1 is moving
23 May 2018 21:41:15 [23:24] Man 0 has reached by Cab 0
23 May 2018 21:41:15 [23:24] Man 2 appears on floor '2', target '10'
23 May 2018 21:41:15 [23:24] Man 2 is moving
23 May 2018 21:41:15 [23:33] Man 3 appears on floor '3', target '1'
23 May 2018 21:41:15 [23:34] Man 2 has reached by Cab 0
23 May 2018 21:41:15 [23:34] Man 3 is moving
23 May 2018 21:41:15 [23:35] Man 1 has reached by Cab 1
23 May 2018 21:41:15 [23:39] Man 3 has reached by Cab 0
23 May 2018 21:41:15 [23:null] Session end
9 May 2018 16:00:58 [51:null] Session end
```

Изучив выше изложенный журнал, можно увидеть, что за время симуляции появилось 4 человека, каждый человек доставлен.

### 3.2.4 Интеллектуальная реализация на языке Prolog

Однако, пусть реализация логического вывода на языке Prolog является целесообразной задачей, но для разделения моделируемой системы на логический блок и блок взаимодействия объектов необходима клиент-серверная связка. А реализация сервера или клиента на языке Prolog не является его типовой задачей, что и касается реализации графической составляющей системы моделирования.

Таким образом более целесообразным будет оставить блок взаимодействия объектов реализованными на языке Prolog. Более того, правила описанные для модуляции системы будут использованы для построения решения логическим блоком.

Данный код иллюстрирует реализацию формулы реализующие обход возможных вариантов будущего, сбор статистики с каждого варианта и выбор наиболее подходящего варианта будущего по признаку. в данном случае интересующим признаком является среднее ожидание человеком кабины.

Благодаря функционалу SWI-Prolog предикаты отражающие состояние системы в момент вызова кабины можно будет указывать в правилах только при необходимости.

#### Пример работы реализации

Данный пример иллюстрирует работу группы лифтов, где их количество равно 2, в здании с 5 этажами. В ходе работы системы появится два человека в моменты времени  $t_2$  и  $t_4$  на этажах  $e_1$  и  $e_0$ , и у каждого человека целью будет четвёртый этаж  $d_4$ .

Изначально первая кабина находится на первом этаже  $e_0$ , а вторая на втором  $e_1$ . Ниже приведён лог показывающий работу системы:

Изучив выше изложенный журнал, можно увидеть, что происходит построение дерева формулы и её обход. Для того чтобы было нагляднее следует прокомментировать строку лога.

Первые четыре столбца в логге - это реальное время журналирования момента модуляции. Следующим столбцом идёт связка двух чисел, первое число - это номер

процесса, он необходим для идентификации сессии, а второе число показывает момент времени модуляции. Ещё одним столбцом является связка строки и числа, число - это так же момент времени в данной ветки формулы, А строка отражает индекс чанка формулы в момент вывода, г означает корень выводимой формулы, а дальше через нижние подчеркивание перечислены индексы кабин, которые участвуют в логическом выводе в данные моменты.

### 3.3 Сравнительный анализ

Как было упомянуто выше одним из основных критериев является средняя длительность ожиданий. Так же можно сравнить время выполнения модуляции. С помощью среднего времени ожидания можно оценить эффективность разработанного решения, и, используя время выполнения программ можно произвести оценку ресурсозатратности разработанного решения.

Проведения анализа необходимо провести тестирование, имеющихся программных решений. По результатам данного тестирования можно будет произвести оценку эффективности и ресурсозатратности.

#### 3.3.1 Условия проведения тестирования

Основными исходными данными являются: количество кабин, количество людей участвовавших при моделировании, точнее количество поступивших запросов, и количество обслуживаемых этажей. Все упомянутые данные можно менять и производить большое количество разноплановых тестов.

В данном тестировании в качестве констант были взяты количество лифтов и количество людей. С помощью такого рода тестов можно произвести оценку не только упомянутых свойств системы, но и увидеть какова типа инфраструктура нуждается или не нуждается в разработанных решениях.

Так же был выбран ряд значений для количества обслуживаемых этажей: 30, 15 и 5. Для зданий со сложной инфраструктурой подходит значение в 30 этажей, для зданий с менее развитой инфраструктурой 15 этажей и для ещё менее 5 этажей.

Для сбора данных производился многочисленный запуск модуляции и был про-

изведён подсчёт средних значений. Результаты сбора данных приведены в таблицах 3.1-3.4. Для упрощения представления полученных данных были даны названия реализациям: более интеллектуальным способом реализации является I тип, а более тривиальным является II тип.

### 3.3.2 Сравнение реализаций

Не взирая на тот факт, что модели типов I и II сильно упрощены, уже можно произвести оценку их эффективности и ресурсозатратности по данным в таблицах 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1 Сравнение по среднему времени ожидания

Способ управления	30 этажей	15 этажей	5 этажей
I тип	7.5	6	2.7
II тип	9.6	7.1	3.2

По результатам из таблицы 3.1 можно сделать вывод, что более интеллектуальная реализация оказалась эффективнее тривиальной во всех условиях.

Таблица 3.2 Сравнение по времени выполнения

Способ управления	30 этажей	15 этажей	5 этажей
I тип	20.516 с	3,711 с	0,527 с
II тип	0,153 с	0,134 с	0,112 с

Однако, по результатам из таблицы 3.2 очевидно, что более интеллектуальная реализация оказалась в десятки раз медленнее, чем более простая реализация.

### 3.3.3 Сравнение реализаций с элементом вероятности

Для тестирования реализаций с элементом вероятности появления запроса, было добавлено 5 человек (запросов), имеют низкую вероятность появления.

При таких условиях возникает вопросы:

- будет ли система I типа всё ещё эффективной;
- на сколько сильно процесс проведения модуляции затянется, если затянется.

Конечно, было бы нечестно реализации I типа не дать возможность оценки вероятности появления запроса. Поэтому было добавлено правило учитывать вероят-

ность появления запроса.

Таблица 3.3 Сравнение по среднему времени ожидания

Способ управления	30 этажей	15 этажей	5 этажей
I тип	7.8	5.5	3.4
II тип	9.6	7.1	3.2

По результатам из таблицы 3.3 можно сделать вывод, что более интеллектуальная реализация остаётся всё ещё эффективнее тривиальной, но при небольшом числе этажей интеллектуальная реализация оказалась менее эффективной.

Таблица 3.4 Сравнение по времени выполнения

Способ управления	30 этажей	15 этажей	5 этажей
I тип	56.791 с	40.739 с	32.957 с
II тип	0.171 с	0.149 с	0.127 с

Более того, по результатам из таблицы 3.4 видно, что более интеллектуальная реализация оказалась ещё медленнее, в то время как тривиальная реализация в показателях не изменилась.

Полученные результаты можно оправдать тем, что интеллектуальная реализация тратила время на обработку запросов, которые по факту не произошли, и это не мешало её превзойти более тривиальную реализацию на больших данных.

#### 3.3.4 Сравнение реализаций на языках Prolog и Python

Входе выполнения экспериментов на выполнение модуляций с ещё большими числами не хватило вычислительной мощности оборудования для реализаций на Prolog. Что иллюстрирует потребность в ресурсах у данных подходов к решению задачи.

Стоит отметить, что программное решение было выполнено и на языке Python, которое ни обладало особой интеллектуальностью и не несло в себе какого-то нового алгоритма. Поведённые тесты показали следующий результат: среднее время ожидания – 12.2 и время выполнения – 0.065 секунд.

Хоть и результат на языке Python, и является более быстрым, но в то же время имеет наихудший результат по среднему времени ожидания. Наверняка, попытка

вынести функции интеллектуальной системы на более быструю платформу будет целесообразным.

### 3.4 Выводы

Получив результаты изложенные выше в таблицах 3.1-3.4, можно рассмотреть целесообразность разработки интеллектуальной системы управления. Сравнительный анализ показал, что среднее время ожидания человеком значительно меньше, чем у более тривиального решения. Также результаты можно сравнить с помощью диаграммы на рисунке 3.1, где отчётливо видно, что продвинутое программное решение является более эффективным.

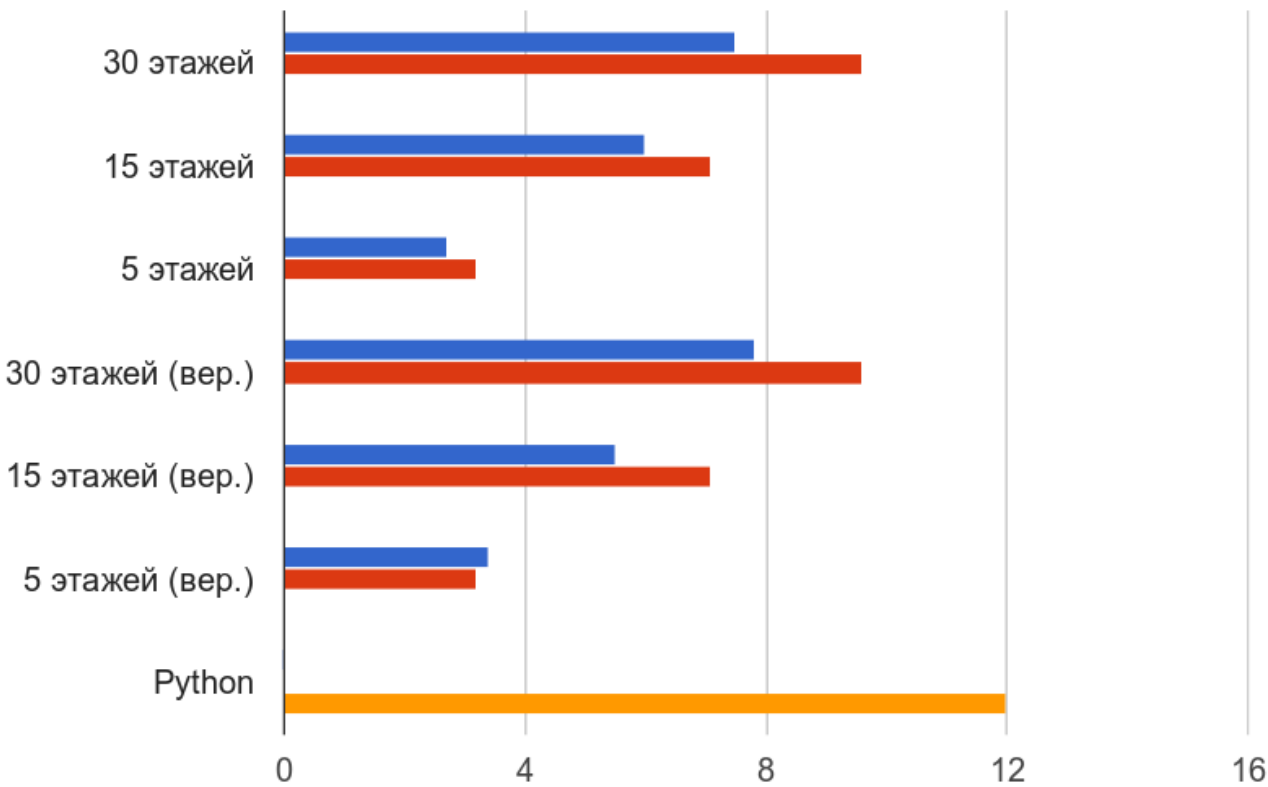


Рисунок 3.1 – Сравнение по среднему времени ожидания

Более того, продвинутое решение требует небольшого улучшения, которое позволит с лёгкостью пройти тест на небольшом количестве этажей. Улучшение будет собой представлять не большое правило, которое бы могло увеличить глубину обхода дерева вариантов решений.

Но не стоит забывать, что чем сложнее требуемый логический вывод, тем больше

ресурсов необходимо системе для функционирования. Поэтому необходимо обратить внимание на диаграмму, которая представлена на рисунке 3.2.

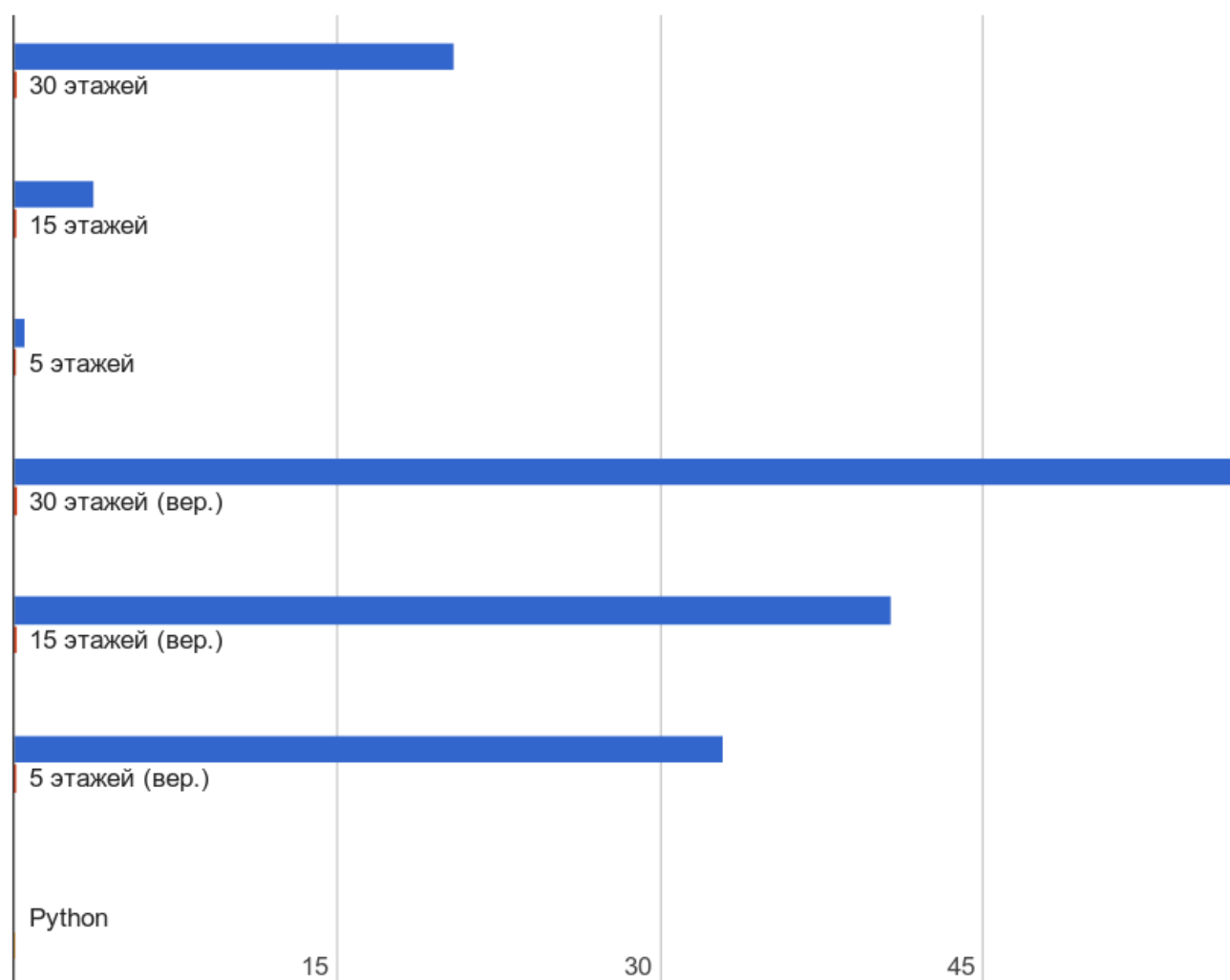


Рисунок 3.2 – Сравнение по времени выполнения

Из диаграммы видно, что время, которое затрачено на построение логического вывода достаточно велико. Это показывает, что для своевременного решения необходимо достаточно большое количество ресурсов. Несмотря на тот факт, что настройка разработанного программного обеспечения не будет занимать длительное время, что делает продукт более дешёвым, поддержание данной системы становится дорогостоящим процессом, за счёт потребности в дорогостоящем оборудовании.

Исходя из этого имеется необходимость заняться оптимизацией данного программного решения, которое позволит снизить потребность в большом объёме ресурсов.

И тем не менее, в наше время высокопроизводительное оборудование быстро



удешевляется, развивается и становится более доступным. Более того, для мест со сложной инфраструктурой затраты на разработанное программное решение будет вполне целесообразным.

Важно подчеркнуть ещё тот, что данное программная реализация является решением двух задач: моделирование среды и построение логического вывода. А это значит, что если выделить блок отвечающий за моделирование среды и реализовать его на оптимизированном движке, то сразу будет получен большой прирост прирост в производительности.

Таким образом, разработав данное программное решение, была получена платформа для разработки новых программных решений. Где можно будет выделить у данной системы два блока, с которыми будет возможно вести независимую разработку. Это позволит ускорить процесс развития данной системы и появится возможность заменять эти блоки на более сложные решения.

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## Заключение

Несмотря на тот факт, что более сложные решения в управлении лифтовыми группами нуждаются в большом объёме ресурсов, интеллектуальные системы управления позволяют своевременно справляться с пассажиропотоком в среде с быстро меняющимися условиями. А также подобная система позволит учитывать вновь возникающие условия и принципы среды, в которой происходит управление, без существенных изменений в программной реализации, что снижает стоимость поддержки данной системы. Плюс, упрощается процесс разработки сложных алгоритмов управления.

Полученные при программном моделировании результаты показали, что посредством добавления дополнительных условий можно улучшать интересующие показатели, например: среднее время ожидания кабины пассажиром и характеристики построения логического вывода.

Принцип рассмотрения вариантов возможного будущего, позволяет сделать систему управления более гибкой в отношении к особенностям пассажиропотока, зависящими от времени суток или другим временным факторам.

Разработанные программные решения могут быть использованы для моделирования более сложных сред для проведения экспериментов и построения гипотез.

Следующим шагом в развитии данной работы будет разбиение разработанного программного решения на два блока: логический и физический. Где логический блок будет отвечать за принятие решения, а физический блок за физические процессы, протекаемые в построенной модели. После чего можно будет вести разработку двух блоков независимо друг от друга. Что приведёт к использованию новой оптимизированной интеллектуальной системы управления и замене физической модели на реальную систему лифтов.

### Список использованных источников

1. ГОСТ 34.602.89. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы. - Введ. 01-01-1990 - М.: Госстандарт России : Изд-во стандартов, 2016. 11 с.
2. ГОСТ 34.601.90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания. - Введ. 01-01-1992 - М.: Госстандарт России : Изд-во стандартов, 2016. 5 с.
3. ГОСТ 34.603.92. Информационная технология. Виды испытаний автоматизированных систем. - Введ. 01-01-1993 - М.: Госстандарт России : Изд-во стандартов, 2016. 5 с.
4. ГОСТ 2.114-95. Единая система конструкторской документации. Технические условия. - Введ. 01-01-1996 - М.: Госстандарт России : Изд-во стандартов, 2016. 12 с.
5. ГОСТ Р 53736-2009. Изделия электронной техники. Порядок создания и постановки на производство. Основные положения. - Введ. 01-01-2011 - М.: Госстандарт России : Изд-во стандартов, 2016. 50 с.
6. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов. - Введ. 01-01-2003 - М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2017. 6 с.
7. Требования к оформлению текстовой и графической документации. Нормоконтроль. - И.: ИрГУПС, 2017. 46 с.

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## Приложение А

### Листинги программ

#### Листинг реализации на SimPy:

```
import simpy
import random
import datetime
import os

LOGFILE = 'project.log'
T_INTER = 5
SIM_TIME = 40
NUM_FLOORS = 30

def info(message, env = None):
    now = datetime.datetime.now()
    time = 'null'
    if env is not None :
        time = '%.2f' % (env.now)
    file = open(LOGFILE, 'a')
    # file.write('%s %s\n' % (NOW.strftime("%Y-%m-%d %H:%M"), message)
    )
    file.write('%s [%s:%s] %s\n'
               % (now.strftime("%d %b %Y %X"), os.getpid(), time,
                  message))
    file.close()

class Man:
    def __init__(self, ind):
        self.name = 'Man %d' % ind
        self.floor = random.randint(0, NUM_FLOORS // 2)
        self.target = self.floor
        while (self.target == self.floor):
            self.target = random.randint(0, NUM_FLOORS)
        info('%s appears on floor \'%s\' with target \'%s\''
            % (self.name, self.floor, self.target), env)

class Cabine(object):
    def __init__(self):
        self.state = 0
        self.floor = 0

class Elevator(object):
    def __init__(self, env, num_machines):
        self.env = env
        self.cab = simpy.Resource(env, num_machines)
        self.cabs = [Cabine() for i in range(num_machines)]
        self.n_cabs = num_machines
```

```

def get_free_cab(self):
    for i in range(self.n_cabs):
        if (self.cabs[i].state == 0):
            return i
def moving(self, man):
    cid = self.get_free_cab()
    self.cabs[cid].state = 1
    moving_time = abs(man.target - man.floor)
    waiting = abs(man.floor - self.cabs[cid].floor) + moving_time
    yield self.env.timeout(waiting)
    self.cabs[cid].state = 0
    info('%s has reached by Cab %d' % (man.name, cid), env)

def call(env, ind, elev):
    man = Man(ind)
    with elev.cab.request() as request:
        yield request
        info('%s is moving' % (man.name), env)
        yield env.process(elev.moving(man))
def people_generator(env):
    elev = Elevator(env, 2);
    i = 0
    env.process(call(env, i, elev))
    while True:
        yield env.timeout(random.randint(T_INTER - 2, T_INTER + 2))
        i += 1
        env.process(call(env, i, elev))
info('Start session')
env = simpy.Environment()
env.process(people_generator(env))
env.run(until=SIM_TIME)
info('Session end')

```

### Основной файл, инициализация логического вывода:

```

:- ensure_loaded('conf.pl').
:- ensure_loaded('log.pl').
:- ensure_loaded('util.pl').
:- ensure_loaded('peopletool.pl').
:- ensure_loaded('elevatortool.pl').
:- ensure_loaded('maintool.pl').
:- ensure_loaded('init.pl').
do_loop_step :-
    manage_people,

```

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

```

        manage_elevators.
do_loop :-
    (nb_current(step, _) ->
        false
    ;
        logwarn('Var \'Step\' has null value'),
        loginfo('Set first step \'0\''),
        nb_setval(step, 0)
    ),
    do_loop.
do_loop :-
    var_getvalue(step, Step),
    nb_getval(n_steps, Steps),
    Step >= Steps.
do_loop :-
    var_getvalue(step, Step),
    nb_getval(n_steps, Steps),
    Step < Steps,
    logtrace('Start step'),
    do_loop_step,
    logtrace('Finish step'),
    Next is Step + 1,
    var_setvalue(step, Next),
    do_loop.

run:-
    show_var,
    logtrace('Start modulation'),
    init,
    do_loop,
    logtrace('Finith modulation'),
    show_stat.

% GOAL
:- run.

```

### Обход возможных вариантов обработки запроса:

```

init_sim(SimPrefix) :-
    copy_var(SimPrefix, step),
    copy_var(SimPrefix, people_targets),
    copy_var(SimPrefix, people_floors),
    copy_var(SimPrefix, people_waiting),
    copy_var(SimPrefix, people_states),
    copy_var(SimPrefix, elevators_floors),
    nb_getval(n_elevators, NElev),
    copy_elev_list(SimPrefix, NElev).

```

```

simulate_loop_step :-
    logtrace('Do loop step'),
    manage_people,
    manage_elevators.
simulate_loop(SimPrefix) :-
    nb_setval(current_sim, SimPrefix),
    sim_getval(SimPrefix, step, Step),
    nb_getval(n_steps, Steps),
    Step >= Steps,
    fwrite(SimLog, 'Simulation \'%t\' is finished', [SimPrefix]),
    logtrace(SimLog),
    show_stat.
simulate_loop(SimPrefix) :-
    nb_setval(current_sim, SimPrefix),
    var_getvalue(step, Step),
    nb_getval(n_steps, Steps),
    Step < Steps,
    logtrace('Start step'),
    simulate_loop_step,
    logtrace('Finish step'),
    Next is Step + 1,
    var_setvalue(step, Next),
    simulate_loop(SimPrefix).

simulate :-
    (nb_current(current_sim, CurrentPrefix) ->
        SimPrefix = CurrentPrefix
    ;
        SimPrefix = 'r_'
    ),
    init_sim(SimPrefix),
    simulate_loop(SimPrefix).

do_simulate(Floor, Elev, H) :-
    nb_getval(current_sim, SimPrefix),
    append2map(Elev, Floor),
    manage_elevators,
    var_getvalue(step, Step),
    Next is Step + 1,
    var_setvalue(step, Next),
    simulate_loop(SimPrefix),
    sim_getval(SimPrefix, people_waiting, PeopleWaitingList),
    sum_list(PeopleWaitingList, H),
    fwrite(SimLog, 'Waiting sum is \'%t\'', [H]),
    logdebug(SimLog).

simulate(Floor, Elev, H) :-

```

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

```

(nb_current(current_sim, CurrentPrefix) ->
    atom_concat(CurrentPrefix, Elev, SimPrefix),
    atom_concat(SimPrefix, '_', Prefix),
    init_sim(Prefix),
    nb_setval(current_sim, Prefix),
    do_simulate(Floor, Elev, H),
    nb_setval(current_sim, CurrentPrefix)
;

    atom_concat('r_', Elev, SimPrefix),
    atom_concat(SimPrefix, '_', Prefix),
    init_sim(Prefix),
    nb_setval(current_sim, Prefix),
    do_simulate(Floor, Elev, H),
    nb_delete(current_sim)
).

calculating(_, Elev, []) :-
    nb_getval(n_elevators, NElev),
    Elev >= NElev.

calculating(Floor, Elev, [H | T]) :-
    nb_getval(n_elevators, NElev),
    Elev < NElev,
    simulate(Floor, Elev, H),
    Next is Elev + 1,
    calculating(Floor, Next, T).

calculate(Floor, ResList) :-
    calculating(Floor, 0, ResList).

do_elev_call(Floor, Elev) :-
    calculate(Floor, ResList),
    min_list(ResList, Min),
    nth0(Elev, ResList, Min).

```



## Приложение Б

### Журналы выполнения программ

**Журнал, отражающий выполнение программы от старта до завершения:**

```

23 May 2018 22:48:41 [40:null] TRACE Start modulation
23 May 2018 22:48:41 [40:null] WARNING Var 'Step' has null value
23 May 2018 22:48:41 [40:null] INFO Set first step '0'
23 May 2018 22:48:41 [40:0] TRACE Start step
23 May 2018 22:48:41 [40:0] TRACE Finish step
23 May 2018 22:48:41 [40:1] TRACE Start step
23 May 2018 22:48:41 [40:1] TRACE Finish step
23 May 2018 22:48:41 [40:2] TRACE Start step
23 May 2018 22:48:41 [40:2] INFO A man appears with id '0' on floor
    with id '1'
23 May 2018 22:48:41 [40:2] TRACE Putting floor to map
23 May 2018 22:48:41 [40:2] TRACE moving_elevators NElev '2' Id '0'
23 May 2018 22:48:41 [40:2] TRACE moving_elevators NElev '2' Id '1'
23 May 2018 22:48:41 [40:2] TRACE Manage people
23 May 2018 22:48:41 [40:2] INFO Going out people '[]' from elev '1'
23 May 2018 22:48:41 [40:2] TRACE Trace getting_people_in '2'
23 May 2018 22:48:41 [40:2] TRACE Trace getting_people_in '1'
23 May 2018 22:48:41 [40:2] INFO Coming people '[0]' to elev '1'
23 May 2018 22:48:41 [40:2] TRACE Finish step
23 May 2018 22:48:41 [40:3] TRACE Start step
23 May 2018 22:48:41 [40:3] TRACE moving_elevators NElev '2' Id '0'
23 May 2018 22:48:41 [40:3] TRACE moving_elevators NElev '2' Id '1'
23 May 2018 22:48:41 [40:3] TRACE Elevator '1' is closing the door
23 May 2018 22:48:41 [40:3] TRACE Change ElevPos '1' Id '1'
23 May 2018 22:48:41 [40:3] TRACE Finish step
23 May 2018 22:48:41 [40:4] TRACE Start step
23 May 2018 22:48:41 [40:4] INFO A man appears with id '1' on floor
    with id '0'
23 May 2018 22:48:41 [40:4] TRACE Putting floor to map
23 May 2018 22:48:41 [40:4] TRACE moving_elevators NElev '2' Id '0'
23 May 2018 22:48:41 [40:4] TRACE Manage people
23 May 2018 22:48:41 [40:4] INFO Going out people '[]' from elev '0'
23 May 2018 22:48:41 [40:4] TRACE Trace getting_people_in '2'
23 May 2018 22:48:41 [40:4] TRACE Trace getting_people_in '1'
23 May 2018 22:48:41 [40:4] INFO Coming people '[1]' to elev '0'
23 May 2018 22:48:41 [40:4] TRACE moving_elevators NElev '2' Id '1'
23 May 2018 22:48:41 [40:4] TRACE Change ElevPos '2' Id '1'
23 May 2018 22:48:41 [40:4] TRACE Finish step
23 May 2018 22:48:41 [40:5] TRACE Start step
    
```

23 May 2018 22:48:41 [40:5] TRACE moving\_elevators NElev '2' Id '0'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:5] TRACE Elevator '0' is closing the door  
 23 May 2018 22:48:41 [40:5] TRACE Change ElevPos '0' Id '0'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:5] TRACE moving\_elevators NElev '2' Id '1'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:5] TRACE Change ElevPos '3' Id '1'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:5] TRACE Finish step  
 23 May 2018 22:48:41 [40:6] TRACE Start step  
 23 May 2018 22:48:41 [40:6] TRACE moving\_elevators NElev '2' Id '0'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:6] TRACE Change ElevPos '1' Id '0'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:6] TRACE moving\_elevators NElev '2' Id '1'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:6] TRACE Manage people  
 23 May 2018 22:48:41 [40:6] INFO Going out people '[0]' from elev '1'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:6] TRACE Trace getting\_people\_in '2'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:6] TRACE Trace getting\_people\_in '1'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:6] INFO Coming people '[]' to elev '1'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:6] TRACE Finish step  
 23 May 2018 22:48:41 [40:7] TRACE Start step  
 23 May 2018 22:48:41 [40:7] TRACE moving\_elevators NElev '2' Id '0'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:7] TRACE Change ElevPos '2' Id '0'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:7] TRACE moving\_elevators NElev '2' Id '1'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:7] TRACE Elevator '1' is closing the door  
 23 May 2018 22:48:41 [40:7] TRACE Finish step  
 23 May 2018 22:48:41 [40:8] TRACE Start step  
 23 May 2018 22:48:41 [40:8] TRACE moving\_elevators NElev '2' Id '0'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:8] TRACE Change ElevPos '3' Id '0'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:8] TRACE moving\_elevators NElev '2' Id '1'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:8] TRACE Finish step  
 23 May 2018 22:48:41 [40:9] TRACE Start step  
 23 May 2018 22:48:41 [40:9] TRACE moving\_elevators NElev '2' Id '0'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:9] TRACE Manage people  
 23 May 2018 22:48:41 [40:9] INFO Going out people '[1]' from elev '0'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:9] TRACE Trace getting\_people\_in '2'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:9] TRACE Trace getting\_people\_in '1'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:9] INFO Coming people '[]' to elev '0'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:9] TRACE moving\_elevators NElev '2' Id '1'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:9] TRACE Finish step  
 23 May 2018 22:48:41 [40:null] TRACE Finith modulation  
 23 May 2018 22:48:41 [40:null] TRACE Show statistics  
 23 May 2018 22:48:41 [40:null] INFO People status results: '[3,3]'  
 23 May 2018 22:48:41 [40:null] INFO People waiting results: '[1,1]'

Часть результата журналирования, в котором отражен обход возможных вариантов обработки запроса:

```

24 May 2018 06:49:49 [71:null] TRACE Start modulation
24 May 2018 06:49:49 [71:null] WARNING Var 'Step' has null value
24 May 2018 06:49:49 [71:null] INFO Set first step '0'
24 May 2018 06:49:49 [71:0] TRACE Start step
24 May 2018 06:49:49 [71:0] TRACE Finish step
24 May 2018 06:49:49 [71:1] TRACE Start step
24 May 2018 06:49:49 [71:1] TRACE Finish step
24 May 2018 06:49:49 [71:2] TRACE Start step
24 May 2018 06:49:49 [71:2] INFO A man appears with id '0' on floor
    with id '1'
24 May 2018 06:49:49 [71:2] TRACE Putting floor to map
24 May 2018 06:49:49 [71:2] TRACE Copy var 'step' into 'r_0_step' with
    val '2'
24 May 2018 06:49:49 [71:2] TRACE Copy var 'people_targets' into '
    r_0_people_targets' with val '[4,4]'
24 May 2018 06:49:49 [71:2] TRACE Copy var 'people_floors' into '
    r_0_people_floors' with val '[1,0]'
24 May 2018 06:49:49 [71:2] TRACE Copy var 'people_waiting' into '
    r_0_people_waiting' with val '[0,0]'
24 May 2018 06:49:49 [71:2] TRACE Copy var 'people_states' into '
    r_0_people_states' with val '[1,0]'
24 May 2018 06:49:49 [71:2] TRACE Copy var 'elevators_floors' into '
    r_0_elevators_floors' with val '[0,1]'
24 May 2018 06:49:49 [71:2] TRACE Copy var 'elev_rmap_1' into '
    r_0_elev_rmap_1' with val '[]'
24 May 2018 06:49:49 [71:2] TRACE Copy var 'elev_people_1' into '
    r_0_elev_people_1' with val '[]'
24 May 2018 06:49:49 [71:2] TRACE Copy var 'elev_rmap_0' into '
    r_0_elev_rmap_0' with val '[]'
24 May 2018 06:49:49 [71:2] TRACE Copy var 'elev_people_0' into '
    r_0_elev_people_0' with val '[]'
24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r_0_:2] TRACE moving_elevators NElev '2'
    Id '0'
24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r_0_:2] TRACE Change ElevPos '0' Id '0'
24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r_0_:2] TRACE moving_elevators NElev '2'
    Id '1'
24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r_0_:3] TRACE Start step
24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r_0_:3] TRACE Do loop step
24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r_0_:3] TRACE moving_elevators NElev '2'
    Id '0'
24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r_0_:3] TRACE Manage people

```

					МД.430200.09.04.04.001-2018.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:3] INFO Going out people '[]' from elev '0'

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:3] TRACE Trace getting\_people\_in '2'

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:3] TRACE Trace getting\_people\_in '1'

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:3] INFO Coming people '[0]' to elev '0'

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:3] TRACE moving\_elevators NElev '2' Id '1'

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:3] TRACE Finish step

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:4] TRACE Start step

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:4] TRACE Do loop step

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:4] INFO A man appears with id '1' on floor with id '0'

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:4] TRACE Putting floor to map

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:4] TRACE Copy var 'step' into 'r\_0\_0\_step' with val '4'

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:4] TRACE Copy var 'people\_targets' into 'r\_0\_0\_people\_targets' with val '[4,4]'

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:4] TRACE Copy var 'people\_floors' into 'r\_0\_0\_people\_floors' with val '[1,0]'

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:4] TRACE Copy var 'people\_waiting' into 'r\_0\_0\_people\_waiting' with val '[1,0]'

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:4] TRACE Copy var 'people\_states' into 'r\_0\_0\_people\_states' with val '[2,1]'

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:4] TRACE Copy var 'elevators\_floors' into 'r\_0\_0\_elevators\_floors' with val '[1,1]'

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:4] TRACE Copy var 'elev\_rmap\_1' into 'r\_0\_0\_elev\_rmap\_1' with val '[]'

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:4] TRACE Copy var 'elev\_people\_1' into 'r\_0\_0\_elev\_people\_1' with val '[]'

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:4] TRACE Copy var 'elev\_rmap\_0' into 'r\_0\_0\_elev\_rmap\_0' with val '[-1,4,-1]'

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_:4] TRACE Copy var 'elev\_people\_0' into 'r\_0\_0\_elev\_people\_0' with val '[0]'

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_0\_:4] TRACE moving\_elevators NElev '2' Id '0'

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_0\_:4] TRACE Elevator '0' is closing the door

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_0\_:4] TRACE Change ElevPos '1' Id '0'

24 May 2018 06:49:49 [71:2] [r\_0\_0\_:4] TRACE moving\_elevators NElev '2' Id '1'