

УДК 621.876.11 + 519.872.2

СИНТЕЗ УНИВЕРСАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

В.Н. НИКОНОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 19 ноября 2010

Разработан алгоритм диспетчерского управления, превосходящий стандартные алгоритмы по пропускной способности, качеству обслуживания пассажиров и энергетической эффективности.

Ключевые слова: алгоритмы, диспетчерское управление, лифт.

Введение

Пропускной способности одного лифта зачастую недостаточно для обслуживания крупных административных зданий с интенсивным пассажиропотоком, поэтому обычно используется группа лифтов. Эффективность группы зависит от алгоритма диспетчерского управления, координирующего лифты группы и распределяющего вызовы между ними. Существует ряд стандартных алгоритмов диспетчерского управления группой лифтов. В данной статье дается обзор наиболее распространенных из них и приводится разработанный универсальный алгоритм.

Методика оценки эффективности алгоритмов диспетчерского управления

Алгоритмы диспетчерского управления используются для распределения кабин по вызовам, полученным от пассажиров. Внешние вызовы регистрируются и распределяются групповым контроллером. Контроллеры отдельных лифтов определяют порядок выполнения вызовов из кабины лифта и внешних вызовов, полученных от группового контроллера.

Интенсивность пассажирского потока не является статической величиной и меняется в зависимости от времени суток. В офисных зданиях ситуация с максимальной интенсивностью пассажирского потока вверх возникает в утренние часы, когда люди из холла здания отправляются вверх по своим офисам. Максимальный поток вниз наблюдается в конце рабочего дня, когда вызовы пассажиров равномерно распределяется по всем этажам, и для большинства из них целевым является первый этаж. В обеденные часы, когда люди одновременно выходят из здания и входят в него, наблюдается суперпозиция двух вышеописанных потоков. В промежутках между этими тремя ситуациями наблюдается поток небольшой интенсивности между произвольными этажами.

Для определения значений параметров эффективности диспетчерских алгоритмов была разработана программа, моделирующая группу лифтов. Для оценки качественных характеристик системы управления группой лифтов был выбран ряд критериев:

- среднее время ожидания лифта (СВО);
- среднее время поездки в лифте (СВЛ);
- доля пассажиров, которые ожидали лифт более минуты ($VO > 60$ с);
- средние затраты электроэнергии на перевозку одного пассажира;

- максимальная пропускная способность группы лифтов под управлением текущего алгоритма.

С помощью разработанной программы были исследованы наиболее распространенные алгоритмы диспетчерского управления: кольцевой алгоритм, алгоритм максимального потока вверх, зонирование, алгоритм с расчетом времени прибытия (ETA) [1].

Универсальный алгоритм группового управления

Одним из основных недостатков рассмотренных выше алгоритмов является отсутствие механизма перераспределения вызовов между лифтами. Назначенный лифту вызов будет выполняться именно этим лифтом, даже, если обстановка уже изменилась и другой лифт может выполнить данный вызов быстрее. Для устранения данного недостатка был разработан универсальный алгоритм. Блок-схема алгоритма представлена на рис. 1.

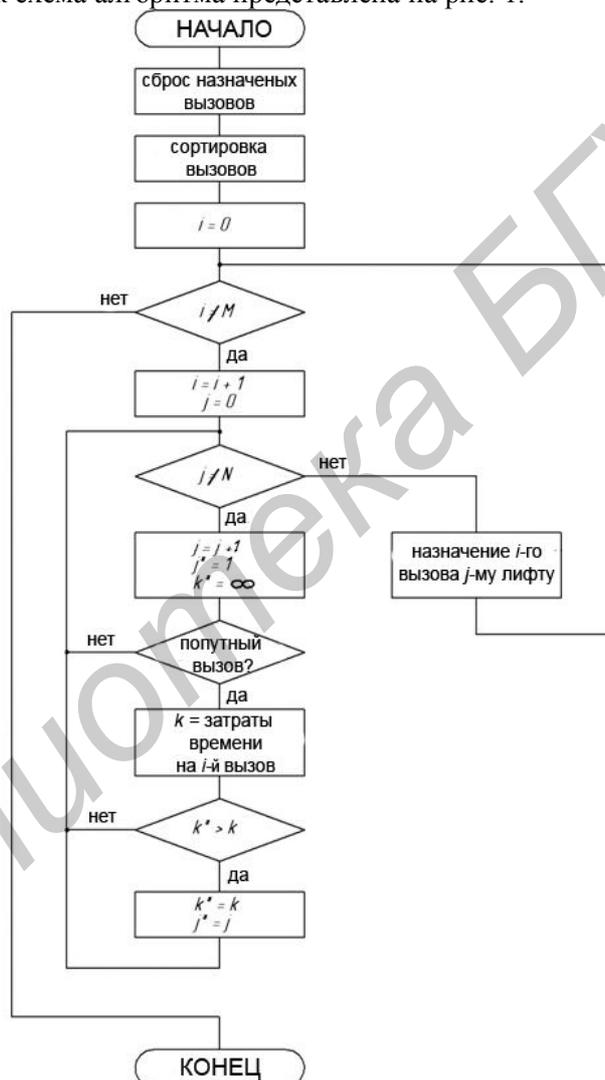


Рис. 1. Блок-схема универсального алгоритма

В основу алгоритма были положены следующие принципы

1. Алгоритм базируется на оценке расчетного времени выполнения вызова лифтом. Анализ осуществляется с учетом длины перегонов, скорости и ускорения лифта, количества остановок. Время на остановку является статическим и включает в себя время, необходимое для открытия дверей, входа и выхода пассажиров и закрытия дверей.

2. Очередь вызовов сортируется по времени. Приоритет имеют наиболее ранние вызовы. Это обеспечивает минимальное количество не обслуженных в течение минуты пассажиров и достаточно низкое время ожидания лифта.

3. По сигналу таймера производится отмена назначений внешних вызовов лифтам. Вызовы переназначаются заново, т.о. учитывается изменение обстановки.

4. После сброса внешних вызовов вызовы из очереди берутся в порядке приоритета. Для вызова выбирается наиболее подходящий по времени выполнения свободный лифт. Вызов назначается лифту. Лифт исключается из списка свободных.

5. Если лифт находится в движении, ему назначается вызов, не требующий немедленного изменения направления движения, даже если имеется более приоритетный вызов, требующий изменения направления.

6. Если лифт находится в режиме торможения или ожидания посадки-высадки пассажиров на этаже, сброс очереди вызовов лифта не производится, пока лифт не подаст сигнал готовности.

Для улучшения обслуживания пассажиров в режиме потока вверх, производится оценка направления вызовов в течение последние 5 мин. Если более половины вызовов поступило с первого этажа и вызовы с первого этажа были активны в сумме более 4 минут, алгоритм переходит в режим потока вверх. При этом все свободные лифты отправляются на первый этаж, а вызов с первого этажа всегда ставится первым в очереди вызовов.

Режимы моделирования

Алгоритмы по-разному действуют для зданий разной величины, лифтов разных моделей и конфигураций. В связи с этим использовалось несколько различных сценариев, охватывающих разные конкретные ситуации. Общим для всех из них было то, что рассматривались офисные здания. Точные параметры всех контрольных сценариев приведены в табл. 1.

Таблица 1. Контрольные сценарии

№ здания	N	U	L	V , м/с	a , м/(с \times с)	Грузоподъемность, кг
1	20	1000	6	1,6	1	400
2	25	1700	8	3	1	600
3	12	800	4	1,6	1	400

В здании 3 небольшое число людей, в результате чего даже в период наибольшей интенсивности потока пассажиров не очень много. Здания 1 и 2 представляет собой сценарии для достаточно интенсивного потока пассажиров, но значительно отличаются количеством лифтов, этажностью и количеством людей в зданиях.

Предельная пропускная способность системы

Для определения предельной пропускной способности группы лифтов производились прогоны с интенсивностью 20%, что превышало предельные возможности лифтовых систем. В результате накапливалась очередь. Затем значение интенсивности постепенно снижалась, пока группа лифтов под управлением рассматриваемого алгоритма не переставала накапливать неконтролируемые очереди. Значение интенсивности, при котором это происходило, является максимальной пропускной способностью группы лифтов под управлением рассматриваемого алгоритма. Результаты измерения пропускной способности алгоритмов для зданий с высокой интенсивностью пассажиропотока показаны в табл. 2. Измерения показали, что для всех рассматриваемых зданий наиболее тяжелым оказался интенсивный поток вверх, поэтому максимальная пропускная способность группы лифтов была измерена для потока вверх.

Таблица 2. Максимальная пропускная способность

№ здания	Кольцевой алгоритм		Алгоритм зонирования		Макс. поток вверх		Алгоритм трех переходов		Универсальный алгоритм	
	пасс/ч	%	пасс/ч	%	пасс/ч	%	пасс/ч	%	пасс/ч	%
1	492	100	528	107	606	123	588	120	630	128
2	864	100	1008	117	1068	124	990	115	1080	125
3	474	100	534	113	534	113	528	111	552	116

Полученные результаты показывают, что наибольшую гибкость и устойчивость к резким флуктуациям интенсивности пассажиропотока [2] демонстрирует разработанный универсальный алгоритм. Достаточно хорошие показатели демонстрирует также алгоритм трех переходов. Высокую пропускную способность в направлении вверх демонстрирует также алгоритм максимального потока вверх.

Параметры эффективности алгоритмов в типовых режимах

В табл. 3, 4 и 5 приведены качественные характеристики работы исследуемых алгоритмов для зданий из таблицы 1 ($t_{ож}$ – СВО, t_n – СВП, %>мин – доля пассажиров, которые ожидали лифт более минуты, $P_{на пасс}$ – затрата электроэнергии на перевозку одного пассажира).

Таблица 3. Результаты моделирования для здания 1

№ здания	Тип потока	Вверх		Вниз		Смешанный		Межэтажный		
		6%	10%	6%	10%	6%	10%	1%	2%	
1	Кольцевой алгоритм	$t_{ож}$	17	–	27	43	17	29	10	13
		t_n	51	–	42	49	40	50	24	28
		%>мин	5	–	14	32	7	19	0	0
		$P_{на пасс}$	16,6	–	9,37	3,08	13,7	7,64	17,6	17,2
	Алгоритм зонирования	$t_{ож}$	24	–	35	61	27	37	18	24
		t_n	54	–	44	49	44	53	31	35
		%>мин	12	–	24	37	19	26	3	12
		$P_{на пасс}$	17	–	6,26	2,67	13,2	7,44	19,8	16,1
	Максимальный поток вверх	$t_{ож}$	7	44	28	47	19	35	18	21
		t_n	45	62	42	49	41	51	28	33
		%>мин	1	20	14	35	11	27	0	4
		$P_{на пасс}$	23,7	15,1	10,3	3,05	16,6	7,96	38,8	28,9
	Алгоритм трех переходов	$t_{ож}$	15	–	23	44	11	27	6	8
		t_n	52	–	43	51	39	52	28	29
		%>мин	4	–	8	28	2	17	0	0
		$P_{на пасс}$	16,4	–	8,52	2,81	12,5	7,35	13,8	13,4
	Универсальный алгоритм	$t_{ож}$	9	26	18	29	9	21	6	7
		t_n	46	62	46	54	41	54	29	31
		%>мин	0	14	3	19	1	11	0	0
		$P_{на пасс}$	22,3	14,9	7,44	2,95	10,7	7,8	13,4	12,7

Скорость прибытия пассажиров принималась равной 10% и 6% от общего количества работающих в здании в течение 10 мин для потоков высокой интенсивности и 2% и 1% для межэтажного потока. Для потока вверх и вниз производилось моделирование в течение 120 мин, для смешанного потока – 90 мин, для межэтажного потока – 240 мин. Наилучшее значение параметра для каждого режима выделено в таблице. Режимы, в которых лифтовой системе не хватило пропускной способности, заполнены прочерками. В здании 1 в режиме потока вверх с интенсивностью 10% только алгоритмы максимального потока вверх и универсальный алгоритм смогли обеспечить достаточную способность для обслуживания всех пассажиров. В здании 2 кольцевой алгоритм в режиме потока вверх с высокой интенсивностью не может обеспечить достаточную пропускную способность системы. В здании 1 явное преимущество по всем показателям в большинстве режимов демонстрирует универсальный алгоритм. Значительно

уступает по экономичности универсальный алгоритм в режиме максимального потока вверх. Однако это компенсируется значительным преимуществом по скорости обслуживания. Близкий по этой характеристике в данном режиме алгоритм максимального потока вверх демонстрирует еще большее энергопотребление. Ценой за небольшое время ожидания кабины для универсального алгоритма является некоторое отставание по времени поездки пассажира в лифте. Однако общее время, затраченное на обслуживание пассажира, все равно в большинстве случаев лучше или сопоставимо с лучшими из показателей стандартных алгоритмов. В здании 2 универсальный алгоритм нарастил преимущество по времени ожидания кабины лифта и количеству не обслуженных в течение минуты пассажиров, однако утратил лидерство во многих режимах по экономичности. Разрыв по времени поездки в кабине в отдельных режимах тоже увеличился. Тем не менее, отставание по экономичности в некоторых режимах довольно незначительное, а по общему времени обслуживания пассажиров универсальный алгоритм превосходит стандартные. В здании 3 из-за меньшей интенсивности пассажиропотока разница между алгоритмами выражена менее ярко. Алгоритм трех переходов и универсальный алгоритм примерно равны по экономичности. При этом универсальный алгоритм показывает наилучший результат по времени ожидания лифта и количеству не обслуженных за минуту пассажиров.

Таблица 4. Результаты моделирования для здания 2

№ здания	Тип потока	Вверх		Вниз		Смешанный		Межэтажный		
		6%	10%	6%	10%	6%	10%	1%	2%	
2	Интенсивность потока	6%	10%	6%	10%	6%	10%	1%	2%	
	Кольцевой алгоритм	$t_{ож}$	10	–	23	41	13	33	9	11
		t_n	62	–	39	50	39	56	24	27
		%>мин	0	–	7	29	4	23	0	0
		$P_{на пасс}$	28,6	–	16,8	9,4	25,7	17,5	27,7	26,1
	Алгоритм зонирования	$t_{ож}$	15	–	32	43	24	37	17	24
		t_n	66	–	43	49	45	57	31	36
		%>мин	5	–	19	31	16	28	3	12
		$P_{на пасс}$	28,4	–	13,9	8,54	24,2	17,8	29,6	25,1
	Максимальный поток вверх	$t_{ож}$	6	25	25	40	17	35	16	19
		t_n	52	78	40	50	40	56	26	31
		%>мин	2	16	8	29	9	26	0	3
		$P_{на пасс}$	35,4	26,8	17,1	9,48	26,7	18,2	44	35,5
	Алгоритм трех переходов	$t_{ож}$	9	62	21	33	10	26	5	7
		t_n	63	77	40	51	39	58	26	27
		%>мин	0	20	8	21	4	14	0	0
		$P_{на пасс}$	28,9	25,6	16,7	9,06	23,5	17,6	23,7	22,9
	Универсальный алгоритм	$t_{ож}$	3	20	13	25	7	20	5	6
		t_n	49	77	44	59	41	62	27	30
		%>мин	0	10	0	13	0	10	0	0
$P_{на пасс}$		35	26,5	14,8	8,77	23,7	17,4	23,5	23,1	

Таблица 5. Результаты моделирования для здания 3

№ здания	Тип потока	Вверх		Вниз		Смешанный		Межэтажный		
		6%	10%	6%	10%	6%	10%	1%	2%	
3	Кольцевой алгоритм	$t_{ож}$	10	44	15	27	8	20	6	8
		t_n	36	46	30	38	28	38	19	22
		%>мин	1	23	2	17	1	13	0	0
		$P_{на пасс}$	11,9	9,69	7,46	3,17	9,96	6,11	12,6	11,4
	Алгоритм зонирования	$t_{ож}$	11	20	21	43	15	39	12	14
		t_n	36	45	33	38	31	51	24	27
		%>мин	2	11	10	24	6	30	1	3
		$P_{на пасс}$	11,7	6,96	5,4	2,64	9,65	7,61	14,3	12,3
	Максимальный поток вверх	$t_{ож}$	3	17	16	47	10	24	10	12
		t_n	31	45	31	49	29	39	21	25
		%>мин	0	11	2	35	1	17	0	0
		$P_{на пасс}$	16,7	10,5	8,24	3,05	12,6	5,79	25,7	20,2
	Алгоритм трех переходов	$t_{ож}$	8	18	14	24	6	18	5	6
		t_n	37	46	30	38	27	38	21	22
		%>мин	0	8	3	15	2	11	0	0
		$P_{на пасс}$	11,6	9,64	6,97	2,84	9,21	5,71	10,6	10,3
	Универсальный алгоритм	$t_{ож}$	4	13	11	22	7	16	4	5
		t_n	34	46	31	40	31	41	20	23
		%>мин	0	6	0	11	0	7	0	0
		$P_{на пасс}$	15,9	10,3	6,18	3,01	8,54	5,5	9,51	9,42

Сравнительный анализ алгоритмов в режиме дневного прогона

Выше были приведены таблицы с результатами работы исследуемых алгоритмов в различных режимах. Однако в офисном здании в течение рабочего дня наблюдается периодическая смена типов пассажиропотока. Было произведено моделирование пассажиропотока, типичного для офисного здания в течении дня. Результаты прогонов сведены в табл. 6, 7, 8 для значений интенсивности пассажиропотока 6, 8 и 10% от общего количества людей в здании, прибывающих в течение 10 мин. Поток пассажиров был сконфигурирован следующим образом: межэтажный поток в течение 11 часов с интенсивностью 10% от общего; поток вверх в течение первых 2-х часов с интенсивностью 90% от общего; поток вниз в течение последних 2-х часов с интенсивностью 90% от общего; поток вниз с 4-го часа прогона в течение последних полутора часов с интенсивностью 45% от общего; поток вверх, начиная с 270-ой минуты прогона в течение полутора часов с интенсивностью 45% от общего.

По результатам прогонов наилучшие результаты по энергопотреблению и скорости обслуживания пассажиров показали алгоритм трех переходов и разработанный универсальный алгоритм. По скорости обслуживания пассажиров также хорошие результаты демонстрирует алгоритм максимального потока вверх, однако это преимущество нивелируется высоким энергопотреблением группы лифтов под управлением данного алгоритма.

Таблица 6. Результаты моделирования для 11-часового прогона в здании 1

Алгоритмы	6%				8%				10%			
	$t_{ож}$	t_n	%> МИН	$P_{на}$ пасс	$t_{ож}$	t_n	%> МИН	$P_{на}$ пасс	$t_{ож}$	t_n	%> МИН	$P_{на}$ пасс
Кольцевой алгоритм	19	42	6	14,3	32	46	16	12,1	–	–	–	–
Алгоритм трех переходов	16	42	4	13,3	20	49	9	11,2	–	–	–	–
Универсальный алгоритм	11	41	1	14,1	14	47	4	11,9	21	52	10	10,1
Максимальный поток вверх	18	40	7	20,9	23	46	12	16,7	44	50	25	13,7
Алгоритм зонирования	27	46	15	13,7	35	49	21	11,6	–	–	–	–

В здании 1 универсальный алгоритм превосходит алгоритм трех переходов по времени обслуживания пассажиров на 11–13% при невысокой интенсивности пассажиропотока, при этом потребляя на 6% больше электроэнергии. С ростом интенсивности пассажиропотока, только алгоритм потока вверх и универсальный обеспечивают достаточную пропускную способность лифтовой группы. Универсальный алгоритм при этом значительно превосходит алгоритм потока вверх по всем показателям.

Таблица 7. Результаты моделирования для 11-часового прогона в здании 2

Алгоритмы	6%				8%				10%			
	$t_{ож}$	t_n	%> МИН	$P_{на}$ пасс	$t_{ож}$	t_n	%> МИН	$P_{на}$ пасс	$t_{ож}$	t_n	%> МИН	$P_{на}$ пасс
Кольцевой алгоритм	15	44	3	24,3	25	50	12	21,6	–	–	–	–
Алгоритм трех переходов	12	44	3	23,2	17	51	7	20,9	40	56	14	18,8
Универсальный алгоритм	8	43	0	25,1	11	51	2	22	18	59	9	19,3
Максимальный поток вверх	15	39	4	30	20	48	9	25,4	31	56	19	22,4
Алгоритм зонирования	22	48	11	23,3	25	53	15	20,6	67	58	23	19

В здании 2 универсальный алгоритм превосходит алгоритм трех переходов по времени обслуживания пассажиров на 6–25%, потребляя на 3–8% больше электроэнергии. С ростом интенсивности пассажиропотока, растет преимущество универсального алгоритма по скорости обслуживания пассажиров и сокращается отставание по энергопотреблению.

Таблица 8. Результаты моделирования для 11-часового прогона в здании 3

Алгоритмы	6%				8%				10%			
	$t_{ож}$	t_n	%> МИН	$P_{на}$ пасс	$t_{ож}$	t_n	%> МИН	$P_{на}$ пасс	$t_{ож}$	t_n	%> МИН	$P_{на}$ пасс
Кольцевой алгоритм	11	30	1	10,1	15	34	6	8,79	48	38	14	7,37
Алгоритм трех переходов	10	31	2	9,2	13	34	4	8,16	18	38	10	6,76
Универсальный алгоритм	7	30	0	10,7	11	35	2	8,83	16	39	8	7,36
Максимальный поток вверх	10	29	1	14,1	14	34	4	11,6	21	38	12	9,57
Алгоритм зонирования	15	33	4	9,59	20	37	9	8,22	28	39	17	7,16

В случае здания 3 наблюдается отставание универсального алгоритма от алгоритма трех переходов по энергоэффективности на 9–16% и преимущество по скорости обслуживания пассажиров на 2–5%. При любой интенсивности пассажиропотока количество не обслуженных в течение минуты пассажиров для универсального алгоритма меньше, что говорит о более равномерном обслуживании.

Заключение

Разработан эффективный универсальный алгоритм диспетчерского управления. Высокие показатели алгоритма по скорости обслуживания пассажиров и экономичности подтверждены моделированием в сравнении с наиболее распространенными алгоритмами диспетчерского управления. Стоит отметить, что при невысокой интенсивности пассажиропотока в здании алгоритм трех переходов может дать экономию электроэнергии при некотором ухудшении качества обслуживания пассажиров в режиме потока вверх по сравнению с разработанным универсальным алгоритмом. С ростом интенсивности пассажиропотока эффективность универсального алгоритма значительно возрастает.

IMPLEMENTATION OF THE UNIVERSAL ALGORITHM OF DISPATCHING CONTROL

V.N. NIKONOV

Abstract

The method for investigation of most popular algorithms of dispatching control has been developed. The program simulates functioning process of the group of lifts and measures values of parameters describing efficiency of algorithms of dispatching management. The universal algorithm of dispatching control has been implemented with the help of simulation program.

Литература

1. *Ронг А., Хаконен Х., Ладелма Р.* // Технический отчет 584. Центр компьютерных наук г. Турку (TUCS). Турку, Финляндия, 2003.
2. *Клейнрок Л.* Теория массового обслуживания. М., 1979.