



Vertical Transport Systems for High-Rise Buildings

Gravit, Marina Victorovna¹ 

Kuzenkov, Kirill Alexandrovich¹ 

Dmitriev, Ivan Igorevich^{2*} 

Nafikova, Marina Vitalievna¹ 

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation

² Technische Universitat Graz, Graz, Austria

Correspondence:* email i.i.dmitriev@yandex.ru; contact phone [+79117587771](tel:+79117587771)

Keywords:

Vertical design; Elevator; Lift; High-rise building; Vertical transport

Abstract:

The article discusses various vertical layouts of elevator transport for high-rise buildings. The following configurations of elevator transport are considered: with one, two, and without transfer levels (Sky lobby), the possibility of using not only one-story but also two-story elevators. The double and single technical floors are substantiated as safety zones in the multi-sectional building.

The article presents a development of general vertical planning of the high-rise building and different types of calculations and simulations for vertical transport. Based on these modelings, some advantages and disadvantages of different vertical planning configurations were determined in terms of high-rise design.

Vertical planning implemented with two transfer floors is on average 11% more efficient than with one transfer floor and 32% more efficient than high-rise planning without transfer floors. A configuration with an absence of transfer floors requires an average of 22% fewer lifts. The most compact solution for the organization of elevators is a double floor Sky Lobby with double-deck elevators. The smallest number of elevators in total is presented into configuration without transfer floors with double-deck elevators.

For real objects, each project has a huge number of variables, taking into account which an individual calculation must be made. Therefore, this study is relevant in the aspect of comparing various options for vertical transport planning.

1 Introduction

Для большинства зданий и сооружений организация вертикального транспорта представляет собой относительно простой с точки зрения конструктивных решений процесс [1-2]. Лифтовая шахта пронизывает по всей высоте здание и обслуживает все рассматриваемые этажи. Таким образом, проектирование и расчет лифтового оборудования сводится к подбору необходимого количества подъемников [3].

Совершенно иная ситуация предстает перед проектировщиком в случае организации системы вертикального транспорта в высотных многоэтажных зданиях, для которых стандартная схема не позволяет обеспечивать стабильный процесс внутренних коммуникаций вследствие повышенного ожидания транспортной кабины.

Согласно [СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования»](#) (SP 267.1325800.2016 High rise buildings and complexes. Design rules; Russian Construction Rules), качество обслуживания вертикальным транспортом подразделяется на удовлетворительное, хорошее и отличное. Основными характеристиками качества обслуживания являются провозная способность и интервал движения (Таблица 1).

Провозная способность – часть населения здания, перевозимая лифтами за 5 мин. В качестве расчетной провозной способности вертикального транспорта здания принимается минимальная провозная способность в течение любого 5-минутного периода в течение дня.

Интервал движения – период времени между открыванием дверей лифта для входа/выхода на обслуживаемом этаже. В качестве расчетного интервала движения принимают максимальный интервал движения во время любого 5-минутного периода в течение дня.

Классическим решением данной проблемы является деление массива этажей на группы обслуживания с общим посадочным этажом [4-8]. При этом, данная схема также может варьироваться по типу посадочных этажей и транзитных зон. Данная конфигурация в основе своей позволяет в полной мере реализовывать преимущества современных высокоскоростных лифтов и разредить транспортный поток. Лифтовые группы напрямую соотносятся с вертикальными зонами обслуживания, что позволяет поместить технические этажи для коммуникаций сектора также под лифтовое оборудование. Данное решение служит акустическим и вибрационным барьером, ограждая людей от излишнего шума.

Таблица 1. Характеристики качества обслуживания вертикальным транспортом для офисных помещений.

Table 1. Characteristics of the quality of service by vertical transport for office premises.

Характеристика	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно
Провозная способность, %	>17	12-17	10-12
Интервал, с	<30	30-40	40-50

Стоит отметить, что выше обозначенная схема организации вертикального транспорта требует большого количества лифтовых шахт для организации бесперебойного движения, что в высотных зданиях (больше 150 м) вызывает существенные инвестиционные потери в связи с уменьшением потенциально продаваемой площади здания из-за необходимости размещения лифтового узла [9-12]. В качестве альтернативного решения для организации лифтового сообщения выступает схема с применением промежуточных пересадочных этажей под названием “sky lobby”. Данный тип вертикального планирования заключается в разделении высотного здания на полностью автономные отсеки с независимыми лифтовыми группами [13-15]. В пределах группы лифты, в свою очередь, часто организуются по классической схеме с разбиением на сектора обслуживания. Объединение зон пересадочных посадочных этажей в схеме “sky lobby” осуществляется за счет специальных лифтов-шаттлов, имеющих две, реже три остановки на протяжении всего пути в соответствии с числом обслуживаемых зон. Шаттлы позволяют в течение короткого времени доставить людей на нижние этажи зон, из которых люди продолжают движение на нужный этаж. Таким образом, “sky lobby” фактически разделяет высотное здание на несколько независимых автономных секций. Лифтовые шахты располагаются непосредственно друг над другом, что позволяет существенно экономить внутреннее пространство. Дополнительная площадь, используемая под лифты-шаттлы, существенно меньше, чем площадь лифтовых шахт, которые требовалось бы установить в здании в соответствии с классической схемой.

Другим достижением в области проектирования вертикального транспорта высотных зданий и сооружений является появление на рынке многокабинных лифтов. В традиционном исполнении данный тип лифта представляет собой спаренную двухъярусную кабину, помещенную в одну шахты и обслуживающую два соседних этажа одновременно. При этом, каждая из кабин имеет возможность производить посадку и высадку пассажиров на любом этаже. Данное решение дополнительно разреживает потоки за счет увеличенной грузоподъемности, и, как следствие, уменьшает необходимую площадь для размещения лифтовых шахт [16-20].

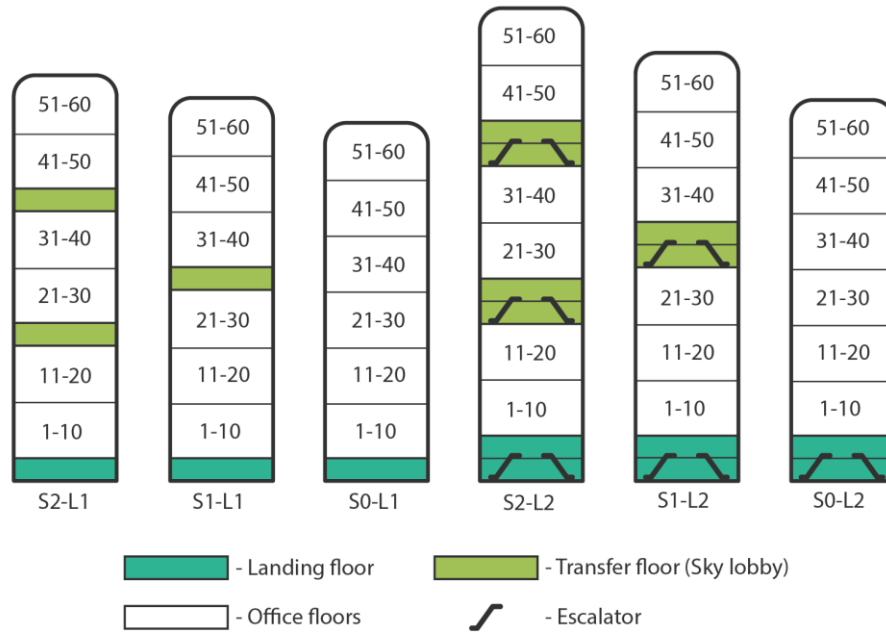


Рис.1. Вертикальное планирование вариантов здания и их обозначения

Fig. 1. Vertical planning of building options and their designation

Здесь и далее для идентификации различных конфигураций вертикальной планировки здания (Рис. 1) использовались следующие условные обозначения (Таблица 2):

Таблица 2. – Условные обозначения вертикальной транспортной системы

Table 2. - Symbols of vertical transport system

Критерий	Параметры
S(i) – число пересадочных этажей	S2 – два пересадочных уровня (Sky lobby) S1 – один пересадочный уровень (Sky lobby) S0 – пересадочных этажей нет
L(j) – тип лифтов	L1 – одноэтажные лифты (Single deck) L2 – двух этажные лифты (Double deck)
T(k) – вариант расположения технических этажей (пояснение в разделе расчетов)	T1 – одиночные технические этажи T2 – сдвоенные технические этажи

Пример: S1-L2 - вариант здания с одним пересадочным уровнем и с двухэтажным типом лифтов.

В рамках данной работы производится сравнение различных вариантов вертикального планирования лифтов в высотном офисном здании. Для сравнения систем лифтов для здания с варьируемым числом людей, приходящихся на этаж, различным типом пересадочных этажей, применением одно- и двух-х этажных лифтов, требуемых итоговых характеристик качества обслуживания вертикальным транспортом, использовался многофакторный анализ для определения наиболее эффективного решения. Рассматриваемые в статье конфигурации здания предполагают одинаковую проектную заселенность. Допускается, что в реальной ситуации фактическое количество людей, даже при равном их проектном количестве, может сильно отличаться в зависимости от большого количества непредполагаемых факторов.

Задачи работы заключались в следующем:

- разработка общего вертикального планирования объекта исследования и расчет трафика вертикального транспорта;
- определение преимущества в аспекте высотного проектирования в зависимости от используемой конфигурации вертикального планирования;
- определение преимуществ и недостатков возможных конфигураций лифтовых систем.

Для полномасштабного моделирования исходные данные разделены на постоянные и переменные характеристики объекта (Таблица 3).

Gravit, M.; Kuzenkov, K.; Dmitriev, I.; Nafikova, M.

Vertical transport systems for high-rise buildings;

2021; Construction of Unique Buildings and Structures; 95 Article No 9505. doi: 10.4123/CUBS.95.5

Таблица 3. – Характеристики объекта исследования
Table 3. - Characteristics of the research object

Постоянные характеристики объекта:	1) Высотный офисный центр 2) 60 используемых под офисы этажей 3) Лифты ёмкостью 21 чел, 1600 кг (один тип для наглядности результатов) 4) Высота типового этажа 3,9м (высоты технических этажей определены по необходимым параметрам высоты для машинных помещений лифтов и глубины их шахт для лифтов Schindler 7000)
Переменные конструктивные характеристики объекта:	1) Число пересадочных этажей: а) 2 пересадочных уровня (Sky lobby); 1 пересадочный уровень (Sky lobby); без пересадочных этажей 2) Тип лифтов: а) 2-х этажные лифты (Double deck); 1-этажные лифты (Single deck) 3) (Дополнительный расчет) расположение технических этажей: а) одиночные (расстояние в один пожарный отсек до следующего тех этажа) б) сдвоенные (расстояние в два пожарных отсека до следующего тех этажа)
Переменные свойства объекта:	1) Качество обслуживания вертикальным транспортом: а) удовлетворительное; б) хорошее; в) отличное 2) Число людей, приходящихся на один этаж (полезная площадь): а) 100 чел. (800 м ²); 150 чел. (1200 м ²); 200 чел. (1600 м ²)

2 Materials and Methods

Расчет вертикального транспорта производится по упрощенной методике определения провозной способности и количества пользователей вертикального транспорта из рекомендуемого приложения Д СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования», с допущениями, позволяющими произвести расчет для каждой выбранной конфигурации зданий.

Схема вертикального транспорта представлена на Рис.2.

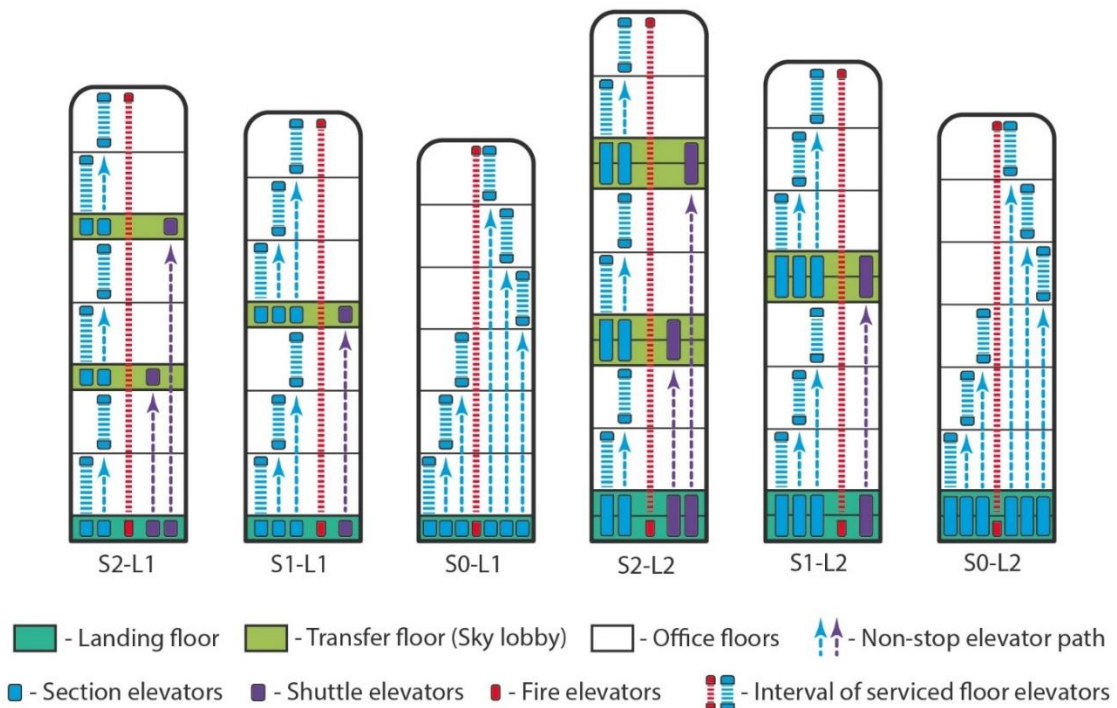


Рис.2. Схема вертикального транспорта
Fig. 2. Vertical transport scheme

В настоящей методике используются следующие допущения:

- основной посадочный этаж расположен внизу;
- пассажиры прибывают равномерно во времени;
- все лифты имеют нагрузку в среднем 80% номинальной вместимости;
- все лифты в группе лифтов одинаковые;
- все этажи заселены одинаково;
- номинальная скорость достигается за прохождение одного этажа;
- высота между этажами одинаковая.

Лифты секций в рамках расчета разбиты на группы, обслуживающие по 10 офисных этажей с целью повышения удобства пользования лифтами, уменьшением числа возможных остановок и упрощенным приближением к существующим методам управления вертикальным транспортом в высотных зданиях.

Для возможности расчета выбранных конфигураций зданий и 2х этажных лифтов приняты дополнительные допущения,:

- учет зоны безостановочного движения лифта между посадочным и обслуживаемыми этажами внутри секции обеспечивается за счет добавления к значению N числа этажей безостановочной зоны;

- учет зоны безостановочного движения для лифтов-шаттлов, имеющих остановки только на посадочном и пересадочном этаже, учитывается за счет принятия средней высоты между этажами d_f равной расстоянию между посадочным и пересадочным этажом. При расчете числа лифтов-шаттлов модель описывается как двухэтажное здание, с отметками пола на уровне посадочного и пересадочного этажей;

- учет двухэтажных лифтов в расчете заключается в том, что данный тип вертикального транспорта позволяет осуществлять одновременное обслуживание двух этажей. При расчете каждые два этажа объединяются в единый блок увеличенной высоты (в 2 раза от средней высоты этажа). Количество потребителей на этаже не изменяется и остается равным числу людей, приходящихся на один этаж.

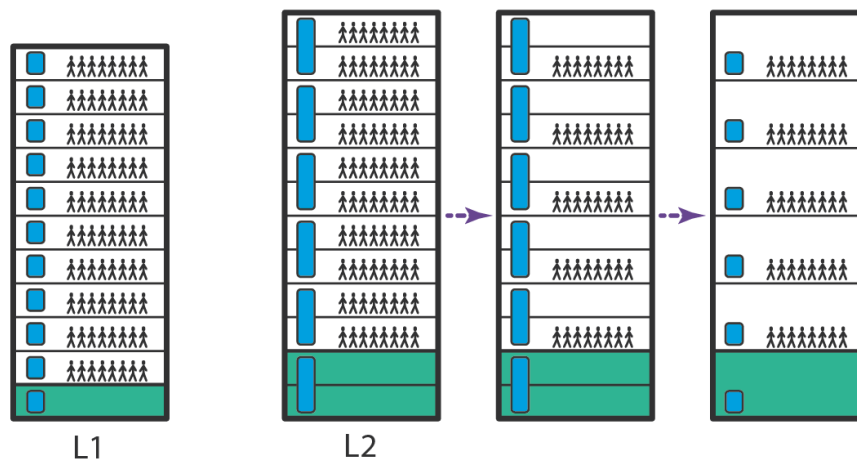


Рис.3. Допущение при расчете двухэтажных лифтов
Fig. 3. Assumption when calculating double-deck elevators

Круговой рейс (RTT) определяется как средний период времени, в течение которого кабина лифта выполняет круговое движение в здании во время пикового подъема, измеряемый с момента, когда двери кабины начинают открываться на главном посадочном этаже, и до момента, когда двери будут открываться на главном посадочном этаже после завершения кругового рейса, и может быть вычислен по формуле:

$$RTT = 2 \cdot H \cdot t_v + (S + 1) \cdot (T - t_v) + 2 \cdot P \cdot t_p +$$

$$t_v = d_f/v$$

$$T = t_f(1) + t_{sd} + t_c + T_0 - t_{ad}$$

где:

- H – средний этаж разворота;
- S – среднее число остановок выше основного посадочного этажа;
- P – среднее число перевозимых людей;
- d_f – средняя высота между этажами, м;
- v – номинальная скорость, м/с;
- $t_f(1)$ – время прохождения одного этажа, с;
- t_{sd} – время задержки включения, с;
- t_c – время закрывания двери, с;
- t_o – время закрывания двери, с;
- t_{ad} – время открывания передней двери, с;
- t_o – среднее время перемещения пассажира в кабине, с;

Интервал при пиковом подъеме INT, с, определяют по формуле:

$$INT = \frac{RTT}{L}$$

где L – число лифтов в группе

Провозную способность за 5 мин при пиковом подъеме HC определяют по формуле:

$$HC = 300 \cdot \frac{P}{INT}$$

Провозную способность PNC, выраженную в процентах к расчетной заселенности здания или части здания, обслуживаемой рассматриваемой группой лифтов, определяют по формуле:

$$PNC = HC \cdot \frac{100}{U}$$

где U – заселенность части здания, обслуживаемой группой лифтов

Расчет схемы вертикального планирования производится по 9-ти комбинациям:

- по трем вариантам уровня комфорта: удовлетворительный, хороший, отличный
- по трем вариантам заселенности этажей: 100, 150 и 200 человек на этаж.

Условное обозначение комбинаций будет состоять из числа людей на этаже в 1-ой части обозначения, и букве уровня комфорта во 2-ой: 100 У, 100 Х, 100 О, 150 У, 150 Х, 150 О, 200 У, 200 Х, 200 О.

Для каждой схемы вертикального планирования производится расчет количества лифтов в блоке и количества лифтов до пересадочного этажа. На основе полученных результатов определяют значение количества лифтов в плане и общее число лифтов.

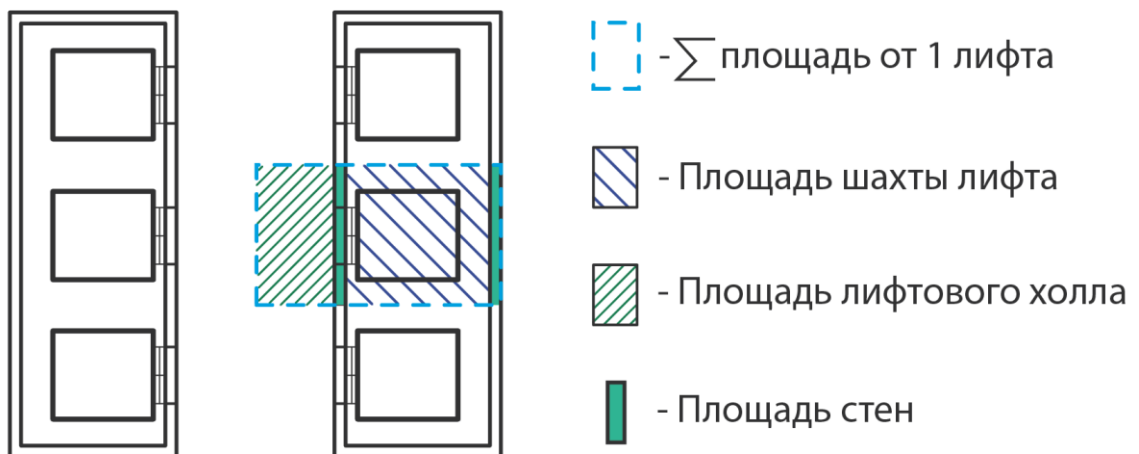


Рис.4. Площадь, занимаемая одним лифтов
Fig. 4. Area occupied by one elevator

Анализ преимущества площади в плане осуществляется путем приведения числа лифтов в плане к занимаемой ими площади, а затем к разнице между рассматриваемыми результатами. Площадь, занимаемая одним лифтом, складывается из площади шахты лифта, стен шахты и лифтового холла. Размеры шахты лифтов и кабины взяты из сортамента Schindler 7000.

В рамках расчета используются только лифты емкостью 21 чел. с грузоподъемностью 1600кг, но в зависимости от высоты подъема применяются различные по скорости лифты (с номинальной скоростью от 3 до 6 м/с), также они делятся на одноэтажные и двухэтажные, что влияет на размеры шахты. Толщина стен принята 200мм, а ширина лифтового холла как удвоенное значение глубины кабины лифта (при расположении лифтов друг напротив друга), для одного лифта ширина равна половине ширины холла.

3 Results and Discussion

Общая высота здания различается для каждой конфигурации вертикальной транспортной системы в связи с необходимостью устройства дополнительного этажа на каждый посадочный и пересадочный этаж для 2х этажных лифтов, нормативные характеристики шахт лифтов, которые в рамках расчета применяются по наибольшему значению из ГОСТ 5746-2015 и сортаменту planning parameters Schindler 7000. Обозначения размеров шахт и машинного помещения с Рис.5.

- 1- машинное помещение
- 2- люк в машинное помещение
- 3- верхняя остановка
- 4- нижняя остановка

$h_{1(L,v)}$ - высота шахты лифта от верхней этажной площадки;

$h_{2(L,v)}$ – высота машинного помещения;

$d_{3(L,v)}$ – глубина приямка;

h_f – высота этажа;

h_s – высота плиты перекрытия;

$h_{teh(L,v)}$ – высота технического пространства для лифтов перед пересадочным этажом;

(L) – обозначение типа лифта по этажности.

(v) – обозначение номинальной скорости движения лифта.

$$h_{teh(i)} = h_1 + h_2 + d_3 + 2 \cdot h_s - h_f$$

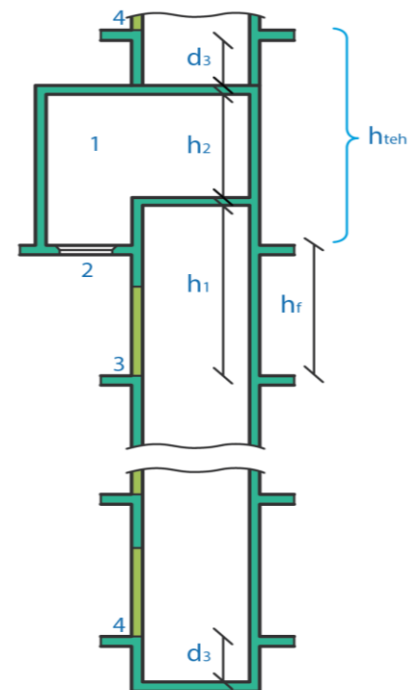


Рис.5. Обозначения размеров шахт и машинного помещения

Fig. 5. Shaft and machine room dimensions

В рамках расчета используются лифты одноэтажные и двухэтажные, в связи с чем параметр (L) может принимать значения (1) и (2). Номинальная скорость лифтов варьируется между значениями 3, 4 и 5 м/с, т.е. обозначения для параметра (v) принимают вид (3), (4) и (5) соответственно. Скорость зависит от высоты последнего обслуживаемого этажа и принимается по сортаменту Schindler.

Пример: $h_{2(2,4)}$ – высота машинного помещения для двухэтажного лифта с номинальной скоростью движения 4 м/с.

Для применяемых в расчете лифтов с номинальной грузоподъемностью 1600 кг приняты следующие параметры (Таблица 4).

Таблица 4. Значения параметров шахты лифта и машинного помещения
Table 4. Values of the parameters of the elevator shaft and machine room

	Высота, мм
--	------------

номинальная скорость	Одноэтажный лифт			Двухэтажный лифт		
	3 м/с	4 м/с	5 м/с	3 м/с	4 м/с	5 м/с
h_1	5650	6300	6900	5900	6400	6950
h_2	2600	2600	2600	3200	3700	3900
d_3	3200	3800	3800	3400	3800	3800
h_f	3900					
h_s^*	300					
h_{teh}	8150	9400	10000	9200	10600	11350
$h_{teh(кровли)}^{**}$	4950	5600	6200	5800	6800	7550

*- параметр h_s принят 300мм, а не 200мм как в остальных местах здания, так как на перекрытия технического этажа приходят большие нагрузки от лифтов, а также разделяют здание на пожарные отсеки;

** - параметр $h_{teh(кровли)}$ рассчитывается по аналогии с h_{teh} , только без учета глубины приямка, так как выше лифты не располагаются;

Минимальная высота технических этажей принимается равной высоте этажа. При больших значениях требуемой высоты технического этажа целесообразно часть этой высоты равную разнице высоты шахты лифта от верхней этажной площадки h_1 и высоты этажа h_f использовать на последнем обслуживаемом лифтом этаже. Данное решение не влияет на суммарную высоту здания, поэтому в рамках расчетов пренебрегается.

Конструктивные решения по расположению технических этажей могут дать выигрыш по высоте. В таблице 5 показано, что требуемая высота технических пространств лифтов перед посадочным этажом составляет от 8,150 м до 11,350 м. Для того, чтобы воспользоваться этим расстоянием, рациональным вариантом будет расположение технических этажей попарно, чтобы один обслуживал нижние этажи в своем пожарном отсеке, а второй верхние - в своем.

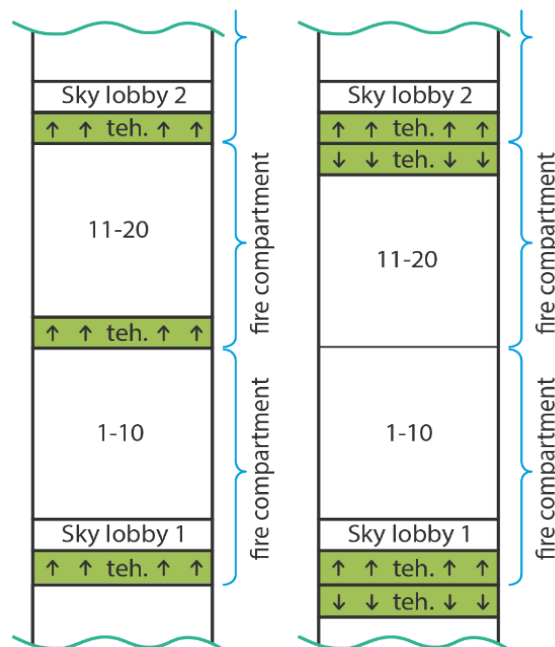


Рис.6. Варианты расположения технических этажей
Fig. 6. Location options for technical floors

Таблица 5 демонстрирует влияние типа лифтов, количества посадочных этажей (Sky lobby) и расположение технических этажей на высоту здания.

При использовании одноэтажных лифтов высота посадочных и посадочных этажей обычно применяется выше типовых этажей в архитектурных целях, но в рамках расчётов принято

допущение о равенстве типовых и пересадочных этажей для большей универсальности и наглядности результатов.

Таблица 5. Высота здания каждого из вариантов вертикального планирования
Table 5. Building height for each of the vertical planning options

	Одноэтажные лифты (Single deck)						Двухэтажные лифты (Double deck)					
	2 Sky lobby		1 Sky lobby		без Sky lobby		2 Sky lobby		1 Sky lobby		без Sky lobby	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
n, шт	60											
hf, м	3,9											
np, шт	3		2		1		6		4		2	
$\sum h_{teh}$, м	33,0	21,3	30,6	22,8	25,7	21,8	35,9	24,2	33,0	25,2	27,1	23,2
Δh_{teh}	11,7		7,8		3,9		11,7		7,8		3,9	
$\sum h$, м	278,7	267,0	272,4	264,6	263,6	259,7	293,3	281,6	282,6	274,8	268,9	265,0

где: n_p – число посадочных и пересадочных уровней;

n – число этажей с офисными пространствами ;

$\sum h_{teh}$ – высота технических этажей, начиная с отметки 0.000;

Δh_{teh} – выигрыш в высоте здания от расположения технических этажей, при прочих равных переменных;

$\sum h$ – суммарная высота здания до верхней точки технического этажа;

Как видно из результатов (Таблица 5), сдвоенное расположение технических этажей позволяет добиться выигрыша в высоте, прямо пропорциональное сумме числа посадочных и пересадочных этажей при прочих равных переменных, в данном случае кратно высоте минимально принятой высоты технического этажа (в данном случае равной высоте типового этажа, т.е 3,9 м).

Дополнительным преимуществом сдвоенных технических этажей является их возможность использования в качестве аутригерных этажей. Например, устройство аутригеры Лахта Центра занимают по два этажа здания, т. е. 8,4 метра и также расположены в пределах двух технических этажей.

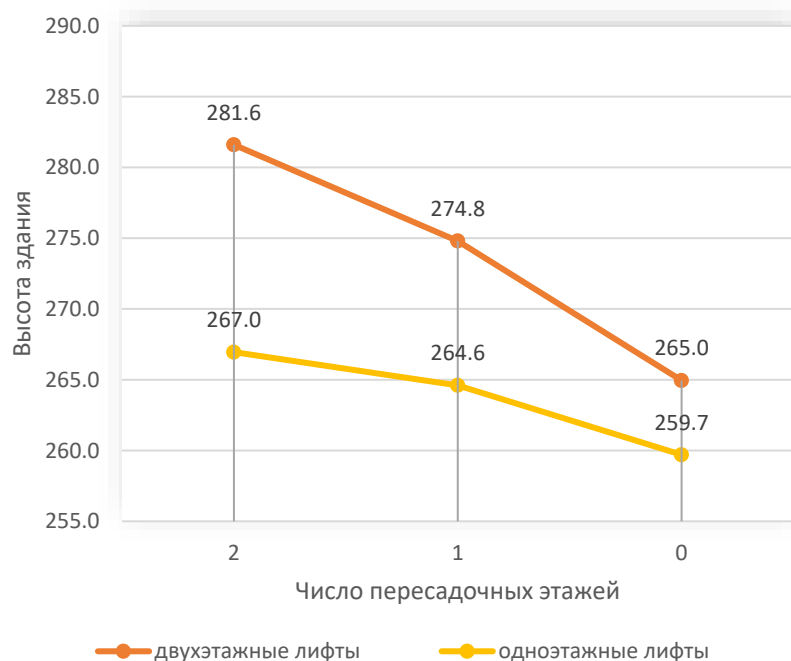


Рис.7. Вертикальное планирование вариантов здания и их обозначения

Fig. 7. Vertical planning of building options and their designation

В рамках данного исследования применение одиночно расположенных технических этажей не имеет явных преимуществ перед вторым видом, поэтому последующие расчеты не будут включать в себя данный вариант расположения технических этажей. В последующих условных обозначениях варианта здания часть с наименованием T(i) убирается и предполагает применение варианта T2. Например под обозначением S1-L2 будет подразумеваться вариант S1-L2-T2.

Сравнение высоты конфигураций зданий с одноэтажными и двухэтажными показывают аналогичную зависимость от количества пересадочных этажей. Но, кроме увеличения высоты здания за счет дополнительных этажей на посадочном и пересадочных этажах, увеличение высоты незначительно происходит за счет увеличения вертикальных размеров шахты лифта и машинных отделений необходимых для двухэтажных лифтов.

Подбор вертикального транспорта происходит в соответствии со следующим алгоритмом. Параметры для лифта Schindler 7000 емкостью 21 чел (1600кг):

- 1) Номинальная скорость (v), зависит от высоты подъема. при высоте подъема: до 120 м, $v = 3$ м/с, до 180 м, $v = 4$ м/с, до 240 м, $v = 5$ м/с, до 300 м, $v = 6$ м/с
- 2) Значения H , S и P для лифтов в секции представлены в таблице 4 и определены по таблице Д.5 СП 267.1325800.2016.

Таблица 6. Значения H , S и P для лифта емкостью 21 чел

Table 6. Values of H , S and P for an elevator with a capacity of 21 people

Число обслуживаемых этажей	H	S	P
1	1	1	16.8
5	5	4.9	16.8
10	9.8	8.3	16.8

- 3) Заселенность части здания – U , рассчитывается для каждой группы лифтов в зависимости от числа обслуживаемых этажей. Заселенность этажа является переменной и принимается в 3х разных значениях: 100, 150 и 200 людей на этаж
- 4) Средняя высота между этажами - d_f

При одноэтажных лифтах $d_f = 3,9$ м, при двухэтажных лифтах $d_f = 7,8$ м. Для лифтов-шаттлов до пересадочного этажа считается индивидуально как высота от пола посадочного до пола пересадочного этажа. Тип дверей лифта – центральная с заданной шириной 1100мм.

- 5) Время задержки включения $t_{sd} = 1$ с;
- 6) Время закрывания двери $t_c = 3$ с;
- 7) Время закрывания двери $t_o = 2.5$ с;
- 8) Время открывания передней двери $t_{ad} = 1$ с;
- 9) Среднее время перемещения пассажира в кабине $t_p = 1$ с;

Ширина лифтового холла 3,4м.

Таблица 7. Суммарная площадь на один лифт.

Table 7. Total area for one lift

Номинальная скорость	3 и 4 м/с	5 м/с
Высота подъема	До 120 и 180 м соответственно	От 180 м
Одноэтажный лифт	11,3 м ²	12,4 м ²
Двухэтажный лифт	12,1 м ²	13,1 м ²

Для наглядности результатов приму усредненное значение площади равное 12 м², занимаемое одним лифтом

Общая динамика графиков показывает, что с точки зрения выигрыша площади за счет уменьшения числа лифтов вертикальное планирование, реализованное с двумя пересадочными

этажами эффективнее в среднем на 11 % чем с одним пересадочным этажом, и на 32% эффективнее чем при высотном планировании без пересадочных этажей.

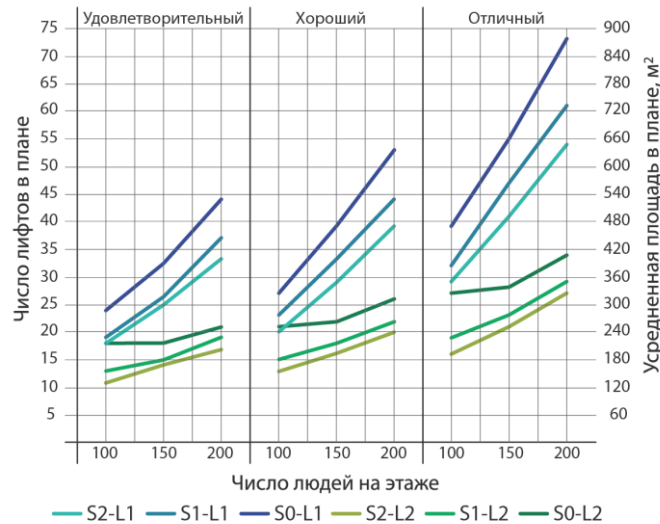


Рис.8. Число лифтов в плане и занимаемая ими площадь

Fig. 8. The number of elevators in the plan and the area occupied by them

При малом числе людей на этаже появляются ситуации, где по расчету для удовлетворения требованиям интервала движения между лифтами требуется лифтов заметно больше, чем для удовлетворения требований провозной способности. На графике это проявляется в его непрямолинейности, что заметно при вертикальном планировании S0-L2. Возможно использование лифтов меньшей емкостью, но для наглядности приняты ограничения в рамках данного расчета в виде лифтов одной вместимостью.

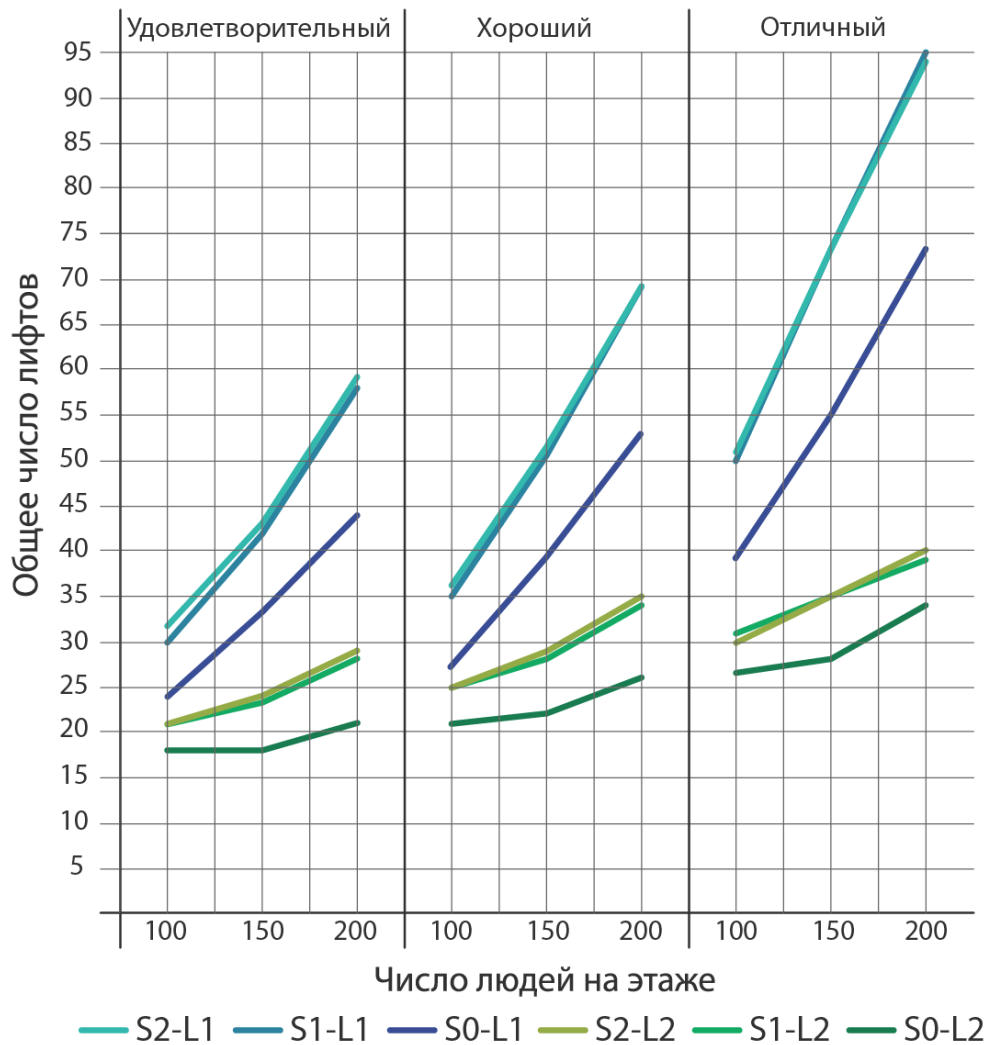


Рис.9. Общее число лифтов
Fig. 9. Total number of lifts

При рассмотрении графиков выше видно, что общее число лифтов для вертикального планирования с одним и двумя пересадочными этажами показывают почти равные значения, в то время как конфигурация без пересадочных этажей требует в среднем на 22% меньшего числа лифтов.

Параметр общего числа лифтов нельзя рассматривать в вопросах стоимости обособленно от других характеристик. Так, в варианте с вертикальным планированием без пересадочных этажей средняя высота обслуживания этажей лифтами больше на 30-35%, также выше и процент лифтов, имеющих высшую скорость. Все это увеличивает стоимость лифтов.

Использование двухэтажных лифтов предполагает дополнительный этаж на посадочном и каждом пересадочном этаже. Помимо этого, необходимо предусмотреть эскалаторы, число которых будет зависеть от числа пересадочных этажей и среднего числа людей на этаже.

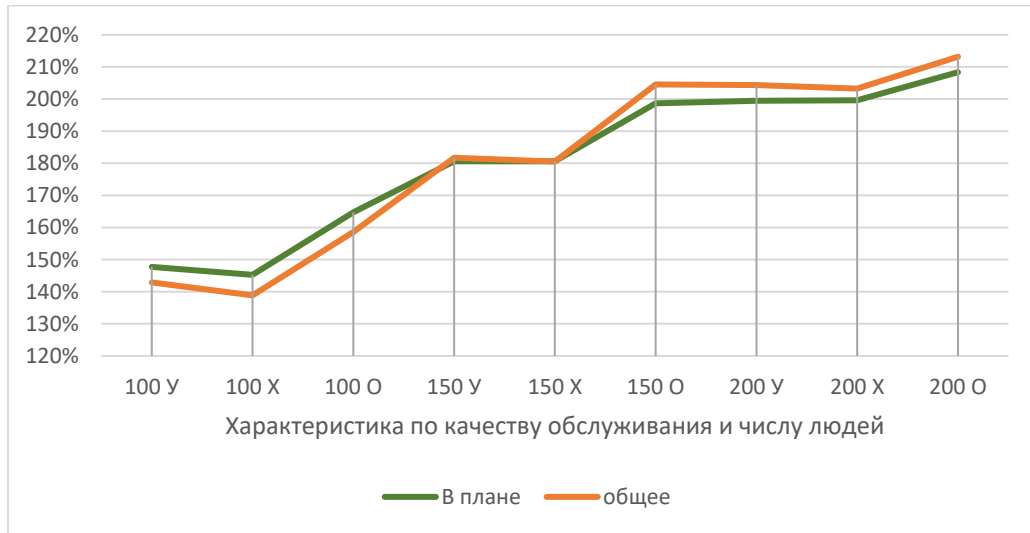


Рис.10. Процент одноэтажных лифтов от двухэтажных
 Fig. 10. Percentage of one-story lifts over two-story

На графике выше показано в процентах среднее значение одноэтажных лифтов в плане и их общее количество относительно двухэтажных. Данные значения получены следующим образом: для каждого из 3-х вариантов (S0, S1 и S2) по числу пересадочных этажей расчетное число двухэтажных этажей принимается за 100, относительно числа двухэтажных этажей в процентах выражается число одноэтажных. После чего из трех полученных значений рассчитывается среднее и переносится на график.

По данному графику хорошо видно, что с увеличением числа людей и качества обслуживания эффективность применения двухэтажных лифтов сильно возрастает.

Если произвести сравнительный расчет стоимости двухэтажных и одноэтажных лифтов, можно добавить на рисунок 11 третий график, который будет показывать стоимость двухэтажного лифта, где за 100% взята стоимость одноэтажного. Так, для примера при условной стоимости двухэтажного лифта в 190% от цены одноэтажного (без учета прочих затрат), эффективность его применения будет при отличном качестве обслуживания для 150 людей, и для любого качества обслуживания, при количестве 200 человек на этаж. Кроме стоимости лифтов и их оборудования, на цену влияют количество и стоимость эскалаторов, выигрыш площади в плане для всего здания и выигрыш по высоте, которые можно получить при той или иной конфигурации.



Рис.11. Стоимость аренды офисов в Москва-Сити
 Fig. 11. The cost of renting offices in Moscow City

Ориентируясь на цены аренды офисных пространств в Москва-сити (Башня Федерация и Империя), цена аренды 1 м² в год будет обходиться в среднем в 55.5 т.р. При вертикальном планировании с одним пересадочным этажом, с 200 человек на этаже и отличным уровнем обслуживания, разница в числе лифтов в плане составляет 32 лифта, что при пересчете может дать в среднем 385 м² полезной площади под офисы на этаже, или 23040 м² во всем здании, при дополнительном доходе 1 280 млн рублей в год только за счет аренды.

4 Conclusions

С увеличением числа людей и качества обслуживания эффективность применения двухэтажных лифтов сильно возрастает. Вертикальное планирование, реализованное с двумя пересадочными этажами эффективнее в среднем на 11 %, чем с одним пересадочным этажом, и на 32% эффективнее, чем при высотном планировании без пересадочных этажей. Конфигурация без пересадочных этажей требует в среднем на 22% меньшего числа лифтов. Наиболее компактным решением по организации лифтов является S2-L2, наименьшее число лифтов всего – So-L2. Для реальных объектов каждый проект имеет огромное количество переменных, с учетом которых должен производиться индивидуальный расчет, поэтому данное исследование актуально в аспекте сравнения различных вариантов вертикального транспортного планирования.

References

1. Yang, S., Tai, J., Shao, C. Dynamic partition of elevator group control system with destination floor guidance in up-peak traffic. *Journal of Computers*. 2009. 4(1). Pp. 45-52. doi: 10.4304/jcp.4.1.45-52.
2. Sorsa, J., Ehtamo, H., Kuusinen, J.-M., Ruokokoski, M., Siikonen, M.-L. Modeling uncertain passenger arrivals in the elevator dispatching problem with destination control. *Optimization Letters*. 2018. 12(1). Pp. 171–185. DOI:10.1007/s11590-017-1130-0. URL: <http://link.springer.com/10.1007/s11590-017-1130-0> (date of application: 4.07.2021).
3. Fu, L., Hao, T. Analysis and simulation of passenger flow model of elevator group control system. *Proceedings - 2012 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, FSKD 2012*. 2012. Pp. 2353–2356. DOI:10.1109/FSKD.2012.6234182.
4. Mikhailov, A.V., Shilkin, N. V. Vertical transport systems for high-rise buildings. *ABOK*. 2010. (7). URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4718 (date of application: 10.01.2021)
5. Sale, M.D., Chandra Prakash, V. Dynamic dispatching of elevators in elevator group control system: Research and survey. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019. 8(4). Pp. 98–102.
6. Fernández, J., Cortés, P., Munuzuri, J., Guadix, J. Dynamic fuzzy logic elevator group control system with relative waiting time consideration. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2014. 61(9). Pp. 4912–4919. DOI:10.1109/TIE.2013.2289867.
7. Wu, K., García de Soto, B., Adey, B.T., Zhang, F. Automatic generation of the vertical transportation demands during the construction of high-rise buildings using BIM. *Proceedings of the 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2019*. 2019. Pp. 99–106. DOI:10.22260/isarc2019/0014. URL: http://www.iaarc.org/publications/2019_proceedings_of_the_36th_isarc/automatic_generation_of_the_vertical_transportation_demands_during_the_construction_of_high_rise_buildings_using_bim.html (date of application: 4.07.2021).
8. Sovdagarova, G., Shilkin, N. V. Efficient of Vertical Transport Operation in High-rise Buildings. *ABOK*. 2017. (1). URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6573 (date of application: 10.01.2021).
9. Park, M., Ha, S., Lee, H.-S., Choi, Y., Kim, H., Han, S. Lifting demand-based zoning for minimizing worker vertical transportation time in high-rise building construction. *Automation in Construction*. 2013. 32. Pp. 88–95. DOI:10.1016/j.autcon.2013.01.010. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926580513000137> (date of application: 4.07.2021).

10. Gravit, M. V., Kuzenkov, K.A., Dmitriev, I.I., Rozov, A.P. Algorithm of stage-by-stage evacuation from high-rise buildings . Collection of materials of the 8th scientific-practical conference Roitman Readings. 2020. Pp. 23–28. URL: <https://academygps.ru/upload/iblock/84e/84ea555be52eab04af7caf5254b736cc.pdf> (date of application: 4.01.2021).
11. Shin, Y., Cho, H., Kang, K.I. Simulation model incorporating genetic algorithms for optimal temporary hoist planning in high-rise building construction. *Automation in Construction*. 2011. 20(5). Pp. 550–558. DOI:10.1016/j.autcon.2010.11.021.
12. Gravit, M., Dmitriev, I., Kuzenkov, K., Lunyakov, M. Dependence of the human flow density from the staircase and exit width. *E3S Web of Conferences*. 2019. 91. Pp. 05017. DOI:10.1051/e3sconf/20199105017. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf> (date of application: 4.07.2021).
13. Wang, W.C., Weng, S.W., Wang, S.H., Chen, C.Y. Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support. *Automation in Construction*. 2014. 37. Pp. 68–80. DOI:10.1016/j.autcon.2013.10.009.
14. M. Gravit , I. Dmitriev, K. Kuzenkov, A. Shestakova, Vertical transport systems for evacuation from high-rise buildings, *MATEC Web of Conferences* , Vol. 239, 01043 (2018) doi.org/10.1051/matecconf /201823901043.
15. Jetter, M. Title: Lift and the City: How Elevators Reshaped Cities Lift and the city: How Elevators Reshaped cities. *Proceedings of the CTBUH 10th World Congress*. 2019. Pp. 66–71. URL: <https://global.ctbuh.org/resources/papers/download/4257-lift-and-the-city-how-elevators-reshaped-cities.pdf> (date of application: 4.07.2021).
16. Gravit, M., Dmitriev, I., Kuzenkov, K. Estimation of evacuation time with elevator application in high-rise buildings. *MATEC Web of Conferences*. 2018. 245. Pp. 11011. DOI:10.1051/matecconf/201824511011. URL: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201824511011> (date of application: 4.07.2021).
17. Appunn, R., Frantzheld, J., Jetter, M., Löser, F. MULTI® - rope-less elevator demonstrator at test tower Rottweil. *Transportation Systems and Technology*. 2018. 4(3). Pp. 80–89. DOI:10.17816/transsyst20184380-89. URL: <https://transsyst.ru/transsyst/article/view/10429> (date of application: 4.07.2021).
18. Gravit, M. V., Karkin, I.N., Dmitriev, I.I., Kuzenkov, K.A. Simulation of evacuation process in high-rise buildings and structures with using passenger elevators. *Fire and explosion safety*. 2019. 28(2). Pp. 66–80. DOI:10.18322/pvb.2019.28.02.66-80. URL: <https://doi.org/10.18322/PVB.2019.28.02.66-80> (date of application: 4.07.2021).
19. Gravit, M., Dmitriev, I., Kuzenkov, K. Phased evacuation algorithm for high-rise buildings. *MATEC Web of Conferences*. 2018. 245. Pp. 11012. DOI:10.1051/matecconf/201824511012. URL: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201824511012> (date of application: 4.07.2021).
20. Dmitriev, I., Kuzenkov, K., Kankhva, V. The use of elevators in the evacuation of high-rise buildings. *MATEC Web of Conferences*. 2018. 193. Pp. 03030. DOI:10.1051/matecconf/201819303030. URL: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> (date of application: 4.07.2021).