

## Анализ динамики движения людских потоков при использовании эскалаторов в метрополитене

*М.Д. Васильев<sup>1</sup>, К.А. Соловьев<sup>2</sup>, Я.В. Кравчук<sup>2</sup>, О.В. Мозговая<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Научно-исследовательский институт строительной физики, Москва*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва*

**Аннотация:** В данной статье проведено компьютерное моделирование движения пассажиров на эскалаторах с учетом разных (четырех) сценариев организации движения пассажиров, интенсивностью пассажиропотока, а также анализирует влияние социальной дистанции на скорость подъема. Построены зависимости изменения времени затрачиваемого пассажирами на преодоление пути от центра платформы до момента подъема на соответствующий эскалатор. Результаты исследования позволяют выявить различия в эффективности и комфорте перемещения пассажиров в зависимости от выбранной схемы и нагрузки. Эти выводы могут быть полезны для оптимизации работы системы общественного транспорта и метрополитена, обеспечивая более безопасное и комфортное перемещение пассажиров в различных условиях.

**Ключевые слова:** анализ людских потоков, обеспечение безопасности в метрополитене, организация людских потоков, компьютерное моделирование, оптимизация пассажиропотока.

### Введение

В современном контексте городской мобильности, метрополитен является неотъемлемой частью жизни мегаполисов, обеспечивая эффективное и комфортное передвижение миллионов горожан [1]. Однако, при проектировании и обеспечении транспортной безопасности, существуют моменты, требующие внимания и исследования [2]. Один из таких аспектов – это движение пассажиров на эскалаторах, которые служат важными звеньями в системе метрополитена [3]. Несмотря на повседневность использования метро, анализ движения людских потоков при восхождении и спуске по эскалаторам представляет интерес с научной и инженерной точек зрения [4–6].

Необходимо отметить, что закономерности движения людей в потоке оказывают влияние на структуру коммуникационной инфраструктуры, такие, как проходы между оборудованием, коридоры, кулуары, открытые лестницы

и эскалаторы, фойе, вестибюли, а также входы и выходы станций метрополитена [7-9]. Особую важность приобретают эти коммуникационные пути в чрезвычайных ситуациях, когда они становятся маршрутами эвакуации для людей, покидающих метро [10]. Экстремальные ситуации вызывают сильные эмоциональные реакции у людей, что приводит к увеличению их физической активности, направленной на быстрый выход из метро. Образующиеся интенсивные потоки людей в таких ситуациях создают наивысшую, и, следовательно, рассматриваемую как максимально возможную, нагрузку на эвакуационные маршруты и выходы. В связи с этим, проектирование коммуникационных путей должно учитывать как психофизиологические особенности поведения людей при движении в потоках, так и влияние коммуникационной инфраструктуры на кинематику движения людских потоков [11]. Исследования Беляева [12], Милинского и Предтеченского [13], Холщевникова [14], посвященные эвакуации основного функционального контингента в зданиях и сооружениях, привели к пониманию фундаментальных аспектов движения людей в потоках.

Растущая потребность в совершенствовании методов расчета, направленных на оценку безопасности людей в условиях пожара, подчеркивает необходимость развития алгоритмов моделирования процесса эвакуации [15]. Этот процесс, в свою очередь, требует большого объема фактических данных и их статистической обработки. Прогнозирование потока пассажиров в метрополитене играет важную роль в обеспечении комфорта и безопасности их перевозки, а также в планировании и оптимизации работы системы общественного транспорта. Анализ данных о количестве пассажиров в разные временные периоды позволяет разрабатывать прогностические модели, которые помогают оптимизировать графики движения поездов, предотвращать перегрузки на станциях и

---

вестибюлях, а также корректировать работу транспортной системы в реальном времени.

### **Проведение компьютерного моделирования движения людских потоков при подъеме на эскалаторе**

В рамках данного исследования мы проведем компьютерное моделирование процесса перемещения пассажиров на эскалаторах в программном комплексе AnyLogic. Эксперимент будет фокусироваться на трех различных сценариях подъема на эскалаторах, обладающих одинаковыми геометрическими характеристиками, работающих синхронно в одном направлении и с постоянной скоростью. Основным различием между ними будет способ организации движения пассажиров, занимающих обе стороны ходу эскалатора. Исследование направлено на выявление различий в эффективности и комфорте перемещения пассажиров в зависимости от выбранного способа организации движения.

Первый эскалатор (расположенный слева), предполагает, что пассажиры стоят на обеих сторонах передвижной ленты во время подъема. Второй эскалатор, расположенный по середине, предусматривает, что люди стоят на правой стороне и перемещаются вверх по левой стороне. Третий эскалатор, расположенный справа, предполагает, что пассажиры движутся вверх по обеим сторонам ленты. Иллюстрация данной конфигурации представлена на рис.1.

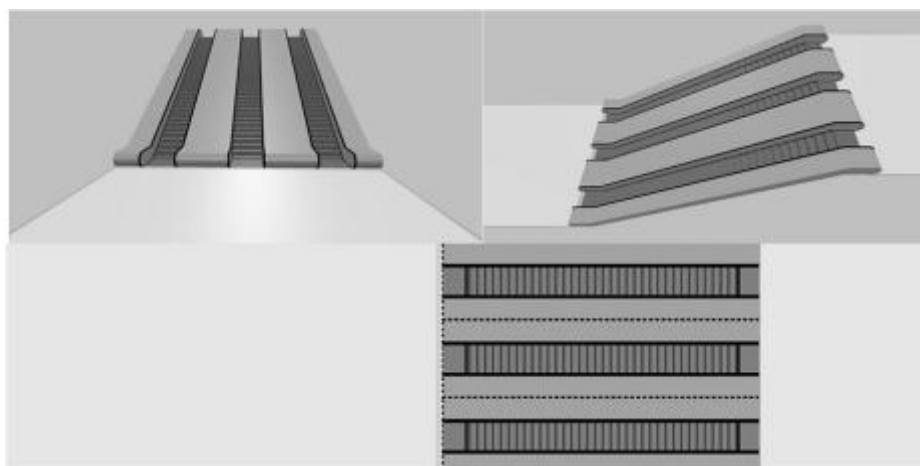


Рис. 1. – 3D - модель расположения эскалаторов на станции

Далее рассмотрим четыре ситуации с разным количеством пассажиропотока, что позволит нам оценить эффективность различных организационных схем движения на эскалаторах и их влияние на потоки людей в условиях данной модели. Рассмотрим случай №1, при малой нагрузке – пассажиропоток составляет 1500 человек/час, процесс моделирования представим на рис. 2.

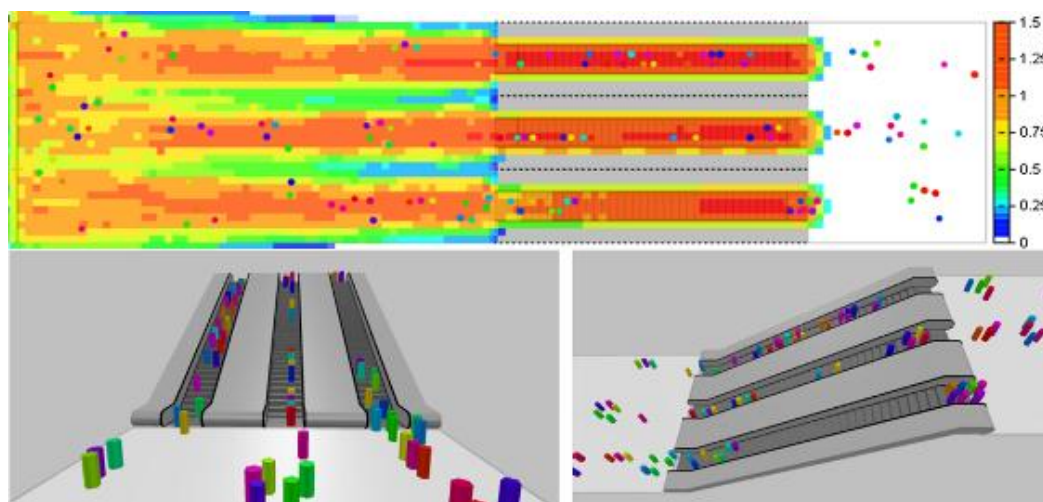


Рис. 2. – Моделирование движения людских потоков – случай №1

На рисунках 3 – 4 представим результаты моделирования подъема пассажиров.



Рис. 3. – Время подъема пассажиров на каждом эскалаторе (красная кривая – левый, оранжевая – средний и зеленая – правый эскалатор)

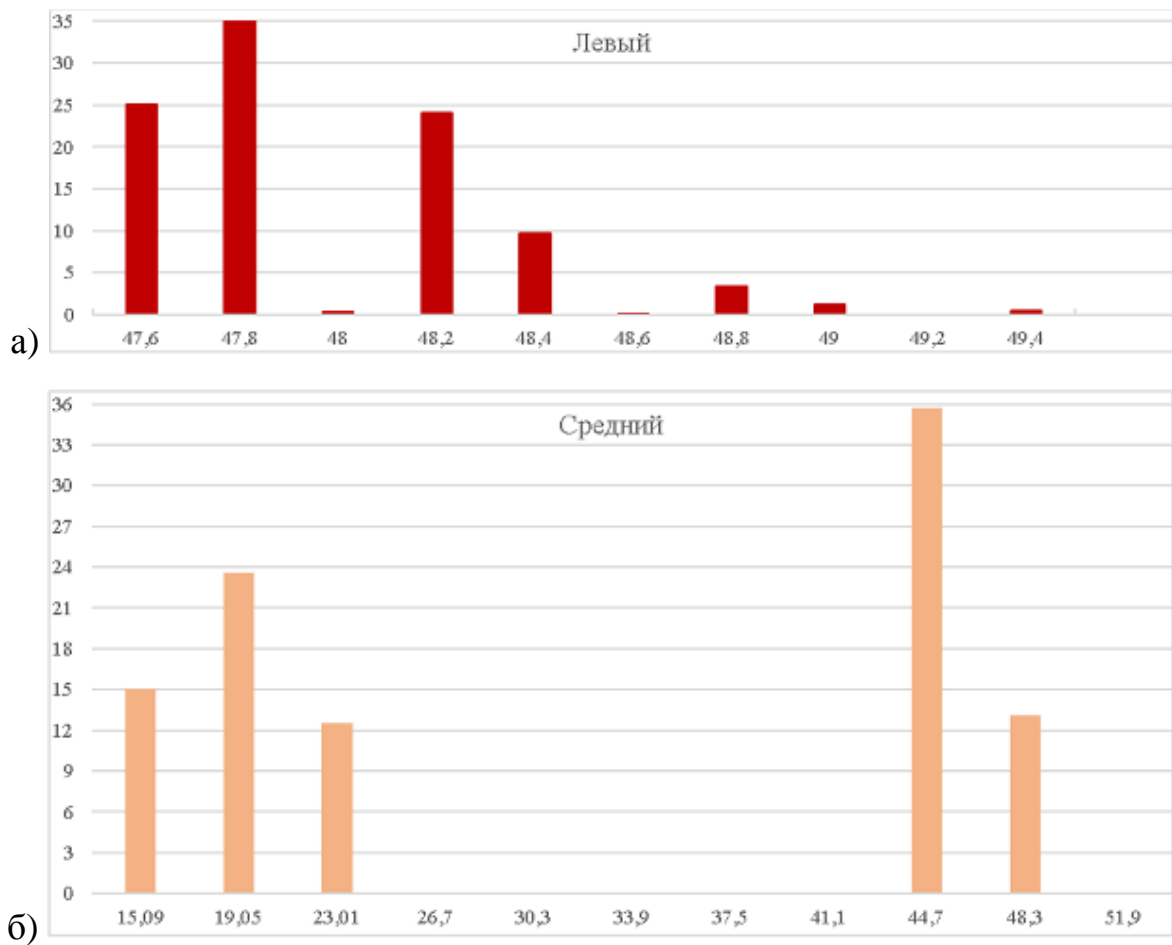




Рис. 4. – Гистограммы распределения времени подъема в % от количества пассажиров: а – на левом эскалаторе; б – на среднем эскалаторе; в – на правом эскалаторе

На основе результатов численного моделирования ситуации № 1, мы можем сделать вывод, что движение людских потоков на всех трех эскалаторах осуществляется без заметных ограничений. Передвижение осуществляется с переменным промежутком между отдельными пассажирами, как продемонстрировано на рис. 2, где наглядно представлены три дискретных пути передвижения человеческих потоков.

Среднее время подъема по левому эскалатору составило 48,1 секунду. Диаграммы распределения времени демонстрируют, что для наибольшей доли пассажиров (35%) на левом эскалаторе время подъема составило 47,8 секунды. Дополнительно, 25% и 24% пассажиров потратили на подъем 47,6 и 48,2 секунд соответственно.

Относительно среднего эскалатора, среднее время подъема составило 34,1 секунду. Важно отметить, что данное значение следует анализировать с учетом гистограмм распределения времени. На этой гистограмме видно образование двух основных групп: первая - для пассажиров, идущих пешком, с временем подъема от 15 до 23 секунд (большинство, 24% пассажиров, поднялось за 19 секунд); вторая - для стоявших пассажиров, где 36% из них поднялись за 44,7 секунды.

Для правого эскалатора среднее время подъема составило 20,6 секунды с нормальным распределением в диапазоне от 16 до 24,8 секунды. Практически одинаковые временные интервалы были зафиксированы для прохождения пассажирами пути от центра платформы до момента поднятия на эскалатор: 43,1 секунда для левого, 43,1 секунда для среднего и 43,2 секунды для правого эскалаторов.

Рассмотрим случай №2: при малой нагрузке – пассажиропоток 1500 человек/час, однако будем учитывать социальную дистанцию в 1,5 метра, что было особенно актуально в период пандемии коронавируса, процесс моделирования представим на рисунке 5, результаты на рисунках 6–7.

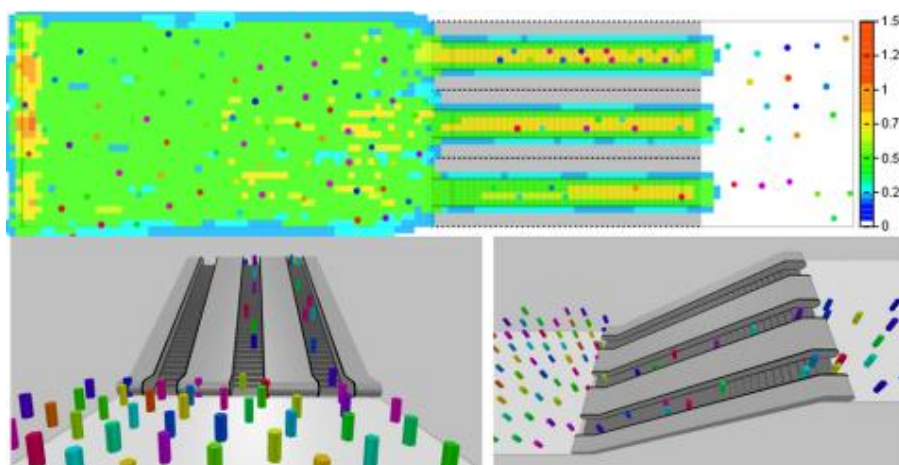


Рис. 5. – Моделирование движения людских потоков – случай №2



Рис. 6. –Время подъема пассажиров на каждом эскалаторе (красная кривая – левый, зеленая – правый эскалатор)

По результатам эксперимента для случая №2 мы видим, что соблюдение социальной дистанции влияет на скорость подъема только пассажиров поднимающихся пешком, для пассажиров поднимающихся на эскалаторе в состоянии покоя, скорость подъема на эскалаторе практически не меняется. Однако, в случае с соблюдением социальной дистанции, площадь зала занимает пассажирами равномерно и мы уже не видим отчетливо разделенных потоков как в предыдущем случае: при входе на эскалатор образуются небольшие очереди, не оказывающие большого влияния, однако общая пропускная способность эскалатора немного снижается, соответственно, время, затраченное пассажирами на прохождение всей дистанции, немного увеличивается.





Рис. 7. – Гистограммы распределения времени подъема в % от количества пассажиров: а – на левом эскалаторе; б – на среднем эскалаторе; в – на правом эскалаторе

Так время, затраченное пассажирами на преодоление пути от центра платформы до момента подъема на эскалатор, составило: для потока на левый эскалатор 59,1 сек, на средний 52,4 сек и на правый 49,3 сек.

Рассмотрим случай №3, при средней нагрузке – пассажиропоток 3000 человек/час, процесс моделирования на рис. 8, результаты на рисунках 9–10.

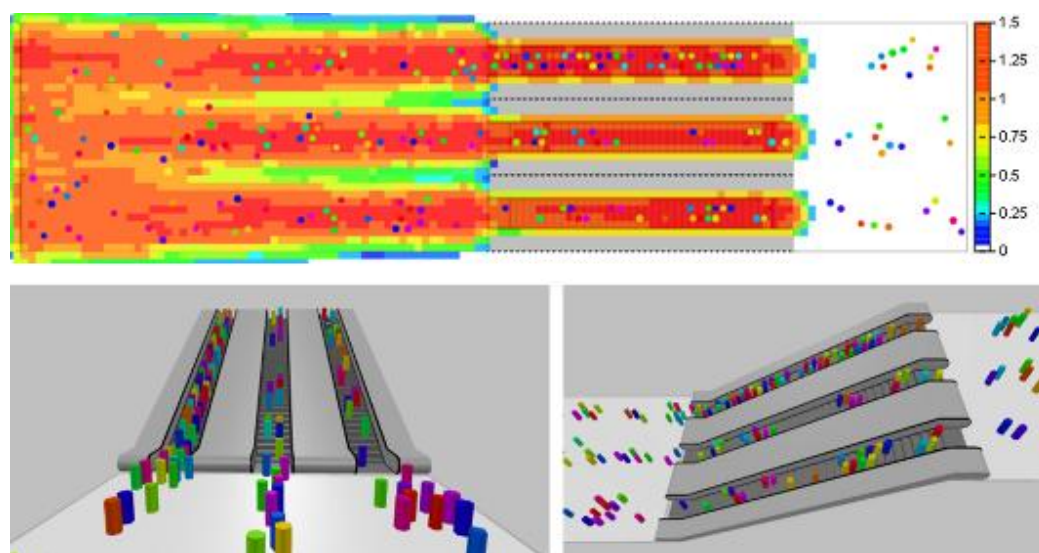
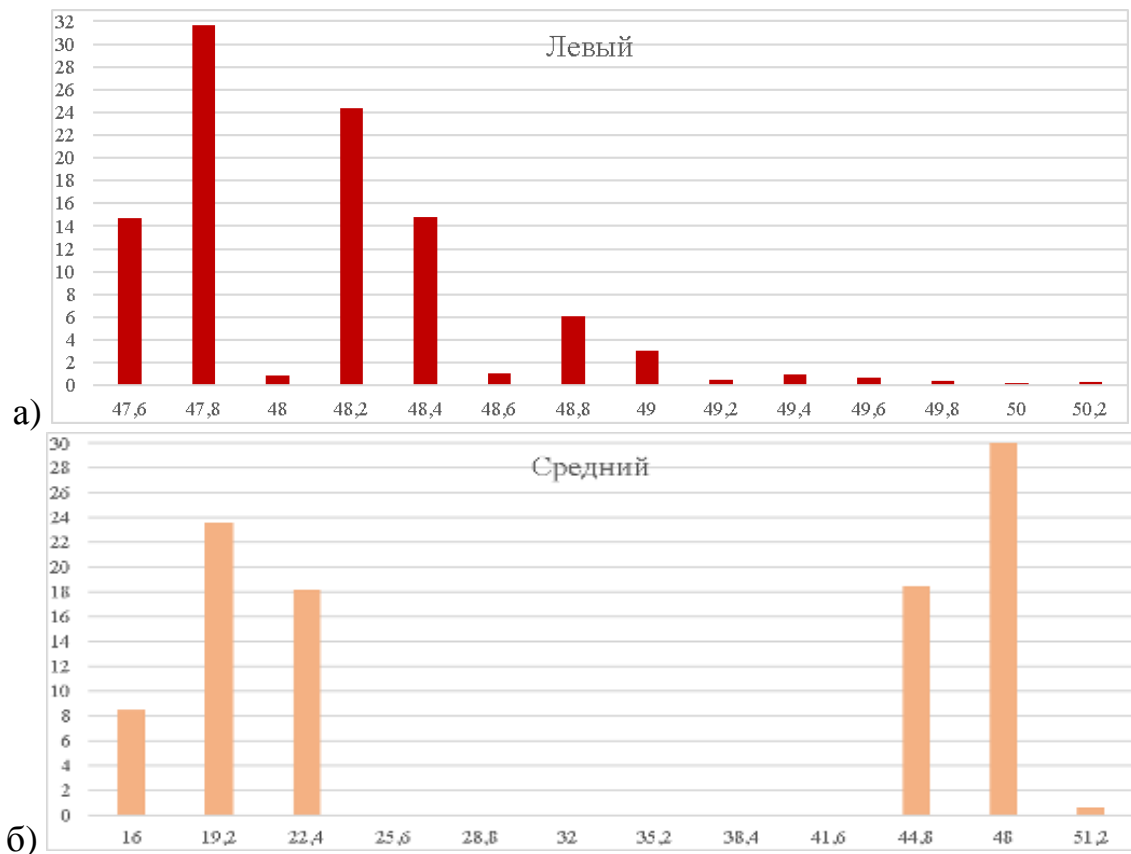


Рис. 8. – Моделирование движения людских потоков – случай №3.



Рис. 9. – Время подъема пассажиров на каждом эскалаторе (красная кривая – левый, оранжевая – средний и зеленая – правый эскалатор)

Как мы видим из результатов эксперимента ситуации №3, увеличение количества пассажиров не привело к значительному изменению скорости подъема пассажиров (средняя скорость подъема на левой эскалаторе 48,4 сек, на среднем 35,1 сек и на правом 21,5 сек) по сравнению с ситуацией №1, однако при подъеме на эскалатор начали образовываться заторы, соответственно, время, затрачиваемое на преодоление пути перехода возрастает, также из-за уплотнения движения на несколько секунд выросло время поднятие пассажиров на эскалатор.



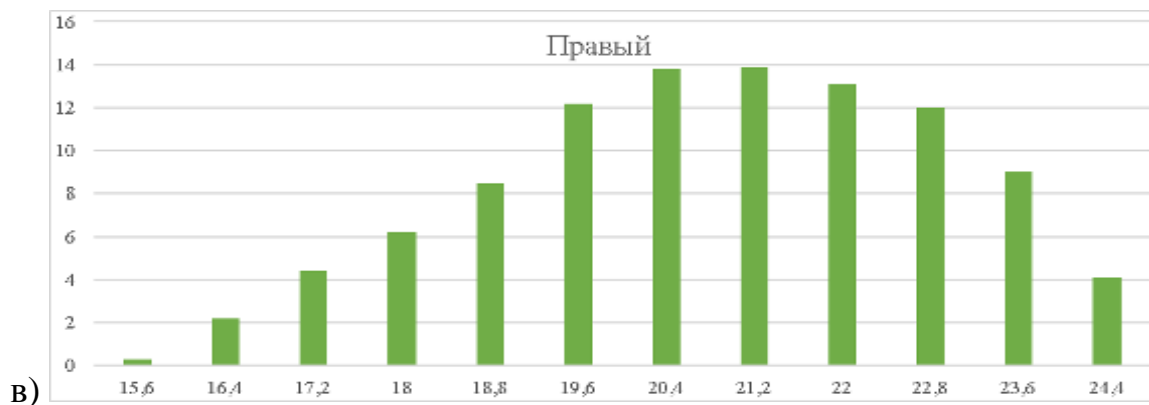


Рис. 10. – Гистограммы распределения времени подъема в % от количества пассажиров: а – на левом эскалаторе; б – на среднем эскалаторе; в – на правом эскалаторе

Время, затраченное пассажирами на преодоление пути от центра платформы до момента подъема на эскалатор, составило: для потока на левый эскалатор 45,0 сек, на средний 45,0 сек и на правый 45,3 сек.

Далее рассмотрим случай №4, при большой нагрузке – пассажиропоток 6000 человек (рис. 11), результат моделирования ситуации № 4 представим на рисунках 12–13.

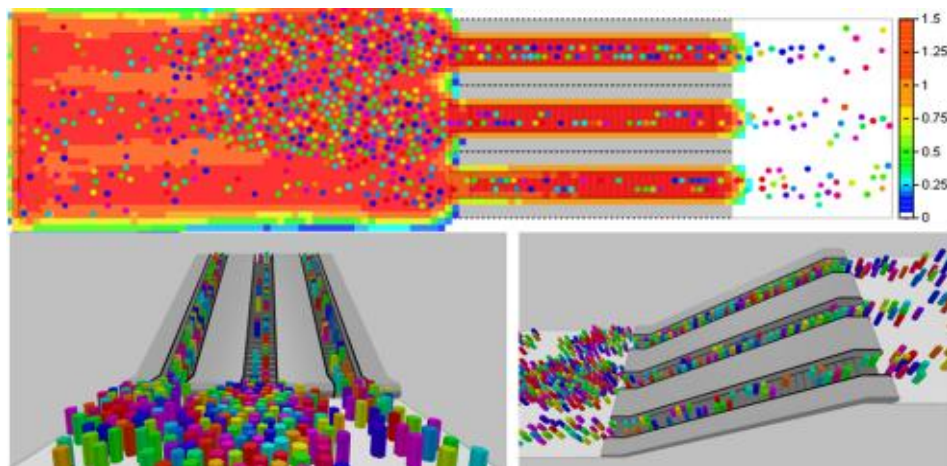


Рис. 11. – Моделирование движения людских потоков – случай №4

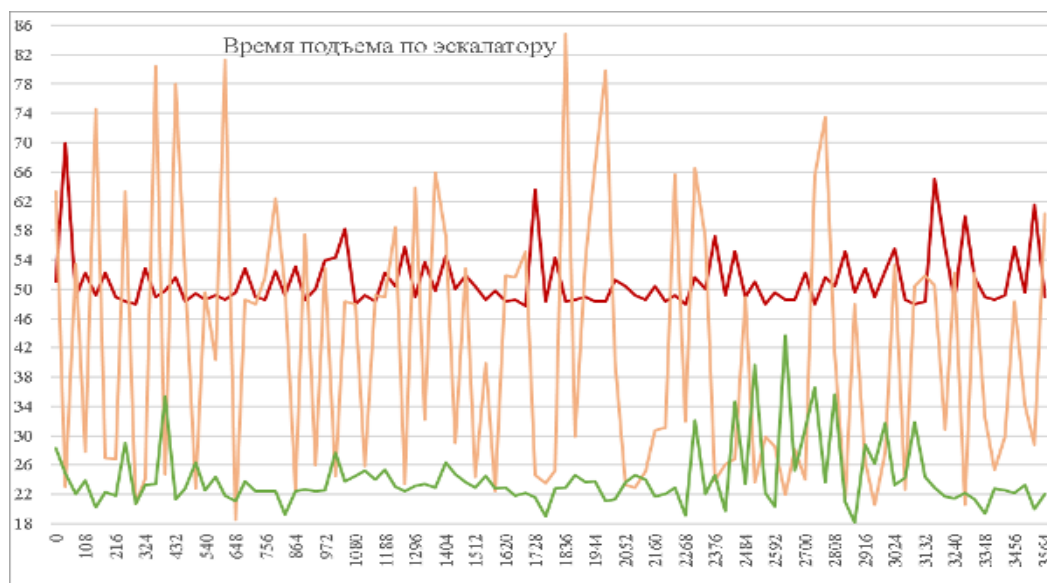
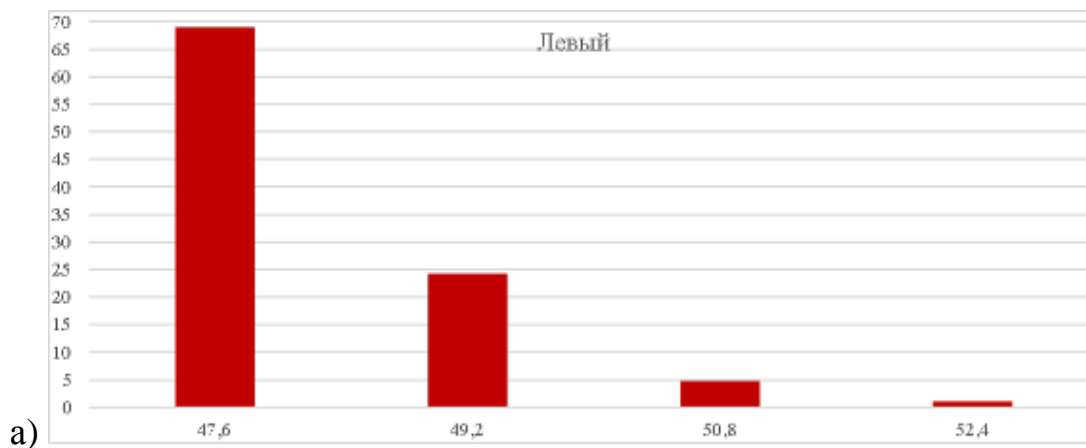


Рис. 12. – Время подъема пассажиров на каждом эскалаторе (красная кривая – левый, оранжевая – средний и зеленая – правый эскалатор)

Как мы можем наблюдать из графиков на рисунке 12, время подъема пассажиров по левому эскалатору закономерно не изменилось, немного выросло время подъема для пассажиров среднего и правого эскалаторов, поднимающихся пешком. Однако, с увеличением количества пассажиров, значительно выросли заторы, образующиеся при входе на эскалатор, сильно увеличилось время, затрачиваемое пассажирами на преодоление пути от центра платформы до момента подъема на эскалатор, составило: для потока на левый эскалатор 93,8 сек, на средний 304,0 сек и на правый 91,3 сек.



а)

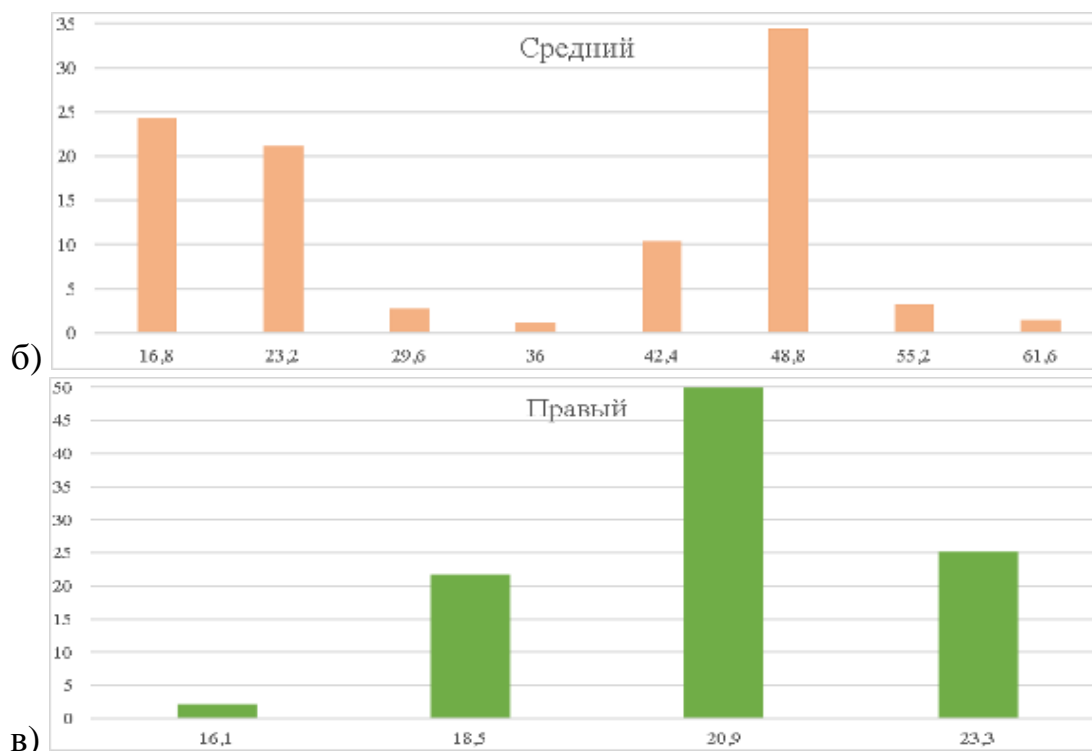


Рис. 13. – Гистограммы распределения времени подъема в % от количества пассажиров: а – на левом эскалаторе; б – на среднем эскалаторе; в – на правом эскалаторе.

Большой затор образовался у подъема на левый эскалатор, однако люди обходят его слева, вдоль стены. Главный затор образовался по середине, не позволяющий пассажирам, занимающим левую сторону эскалатора, продвигаться вперед. У правого эскалатора значительно замедлилось время доступа к подъему, в том числе из-за пробки рядом, однако затора непосредственно для правого эскалатора – нет.

Далее сравним время, затрачиваемое пассажирами на преодоление пути от центра платформы до момента подъема на соответствующий эскалатор, для ситуаций №1 – 4. Результаты сравнения представим в таблице №1.

Таблица №1.

Время, затрачиваемое пассажирами на преодоление пути от центра платформы до момента подъема на каждый эскалатор, для ситуаций №1 – 4.

№	Пассажиропот	Время, затрачиваемое пассажирами на преодоление пути от центра платформы до момента подъема на каждый эскалатор, с
---	--------------	--

---

---

	ок в час	Левый	Средний	Правый
1	1500	43,1	43,1	43,2
2	1500*	59,1	52,4	49,3
3	3000	45	45	45,2
4	6000	93,8	304	91,3

\* – социальная дистанция 1,5 м.

### Заключение

В ходе данного исследования мы провели компьютерное моделирование передвижения пассажиров на трех эскалаторах, обладающих одинаковыми геометрическими характеристиками и работающих с постоянной скоростью. Мы рассмотрели четыре ситуации с разным количеством пассажиров, что позволило оценить эффективность различных организационных схем движения на эскалаторах. Исходя из результатов наших исследований, мы можем сделать следующие выводы.

В случае низкой нагрузки (1500 человек/час), различия в способах организации движения на эскалаторах практически не влияют на скорость подъема пассажиров на эскалатор, однако влияют на общее время преодоления пути. Также стоит отметить, что соблюдение социальной дистанции во время подъема на эскалатор влияет только на скорость подъема пешеходов, в то время как пассажиры, использующие эскалатор в состоянии покоя, не испытывают существенных изменений во времени подъема. При средней нагрузке (3000 человек/час) увеличение количества пассажиров приводит к образованию заторов, что увеличивает время, затрачиваемое пассажирами на преодоление пути от центра платформы до момента подъема на эскалатор. При высокой нагрузке (6000 человек/час) заторы значительно возрастают, особенно при входе на эскалатор (левый), что существенно увеличивает время подъема пассажиров и создает затруднения в движении, в том числе при подъеме на другие эскалаторы (правый). На рис. 14 построим зависимости изменения времени, затрачиваемого пассажирами на

---

---

преодоление пути от центра платформы до момента подъема на соответствующий эскалатор, от количества пассажиропотока.



Рис. 14. –Время на преодоление пути от центра платформы до момента подъема на соответствующий эскалатор от количества пассажиропотока

Таким образом, организация движения на эскалаторах может существенно влиять на эффективность и комфорт передвижения пассажиров в зависимости от пассажиропотока. Эти результаты могут быть полезны для оптимизации работы системы общественного транспорта и инфраструктуры метрополитена с целью обеспечения безопасности и комфорта пассажиров.

## Литература

1. Анастасов М. С., Кочерыгин А. С. Развитие инновационной инфраструктуры метрополитена мегаполиса: управленческий аспект // ТДР. 2013. №4, с. 39–43. URL: [cyberleninka.ru/article/n/razvitie-innovatsionnoy-infrastruktury-metropolitena-megapolisa-upravlencheskiy-aspekt](http://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-innovatsionnoy-infrastruktury-metropolitena-megapolisa-upravlencheskiy-aspekt).

2. Агеев П. М., Савосько С. В., Маслаков М. Д. Особенности расчёта процесса эвакуации людей из подвижного состава метрополитена // Пожары и ЧС. 2016. №3, с. 3–16. URL: [cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-raschyota-protssessa-evakuatsii-lyudey-iz-podvizhnogo-sostava-metropolitena](http://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-raschyota-protssessa-evakuatsii-lyudey-iz-podvizhnogo-sostava-metropolitena).

3. Таранцев А. А. О моделировании движения людей цепочкой // Пожаровзрывобезопасность. 2005. №2, с. 38–40. URL: [cyberleninka.ru/article/n/o-modelirovanii-dvizheniya-lyudey-tsepochkoy](http://cyberleninka.ru/article/n/o-modelirovanii-dvizheniya-lyudey-tsepochkoy).

4. Поршнева С. В., Яков Д. А. О выборе методологии построения информационных моделей контрольно-пропускных систем, используемых для управления людскими потоками высокой интенсивности // Инженерный вестник Дона. 2012. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/923](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/923).

5. Холщевников В. В., Гилетич А. Н., Ушаков Д. В., Парфененко А. П. Общая закономерность изменения параметров движения людских потоков различного функционального контингента в зданиях и сооружениях // Пожаровзрывобезопасность. 2011. №12, с. 32–41. URL: [cyberleninka.ru/article/n/obschaya-zakonomernost-izmeneniya-parametrov-dvizheniya-lyudskih-potokov-razlichnogo-funktsionalnogo-kontingenta-v-zdaniyah-i](http://cyberleninka.ru/article/n/obschaya-zakonomernost-izmeneniya-parametrov-dvizheniya-lyudskih-potokov-razlichnogo-funktsionalnogo-kontingenta-v-zdaniyah-i).

6. Самошин Д. А. Расчет времени эвакуации людей. Проблемы и перспективы // Пожаровзрывобезопасность. 2004. №1, с. 33–46. URL: [cyberleninka.ru/article/n/raschet-vremeni-evakuatsii-lyudey-problemy-i-perspektivy](http://cyberleninka.ru/article/n/raschet-vremeni-evakuatsii-lyudey-problemy-i-perspektivy).



7. Анастасов М. С., Кочерыгин А. С. Развитие инновационной инфраструктуры метрополитена мегаполиса: управленческий аспект // ТДР. 2013. №4, с. 39–44. URL: [cyberleninka.ru/article/n/razvitie-innovatsionnoy-infrastruktury-metropolitena-megapolisa-upravlencheskiy-aspekt](http://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-innovatsionnoy-infrastruktury-metropolitena-megapolisa-upravlencheskiy-aspekt).

8. Козлов П. И. Методика формирования комплексного критерия оценки условий движения пассажиров в пространстве закрытых коммуникационных элементов интермодальных транспортно-пересадочных узлов // Вестник евразийской науки. 2018. №3. URL: [cyberleninka.ru/article/n/metodika-formirovaniya-kompleksnogo-kriteriya-otsenki-usloviy-dvizheniya-passazhirov-v-prostranstve-zakrytyh-kommunikatsionnyh](http://cyberleninka.ru/article/n/metodika-formirovaniya-kompleksnogo-kriteriya-otsenki-usloviy-dvizheniya-passazhirov-v-prostranstve-zakrytyh-kommunikatsionnyh).

9. Su, G.; Si, B.; Zhi, K.; Li, H. A Calculation Method of Passenger Flow Distribution in Large-Scale Subway Network Based on Passenger–Train Matching Probability. *Entropy* 2022, 24, p. 10–26. URL: [doi.org/10.3390/e24081026](https://doi.org/10.3390/e24081026).

10. Ma, J.; Zeng, X.; Xue, X.; Deng, R. Metro Emergency Passenger Flow Prediction on Transfer Learning and LSTM Model. *Appl. Sci.* 2022, 12, p.16–44. URL: [doi.org/10.3390/app12031644](https://doi.org/10.3390/app12031644).

11. Холщевников В. В. Психофизиологические закономерности поведения людей при движении в пешеходных потоках // Пожаровзрывобезопасность. 2005. №4, с. 38–49. URL: [cyberleninka.ru/article/n/psihofiziologicheskie-zakonomernosti-povedeniya-lyudey-pri-dvizhenii-v-peshehodnyh-potokah](http://cyberleninka.ru/article/n/psihofiziologicheskie-zakonomernosti-povedeniya-lyudey-pri-dvizhenii-v-peshehodnyh-potokah).

12. Беляев С.В. Эвакуация зданий массового назначения. М.: Изд-во Всесоюзной академии художеств, 1938. – 72 с.

13. Предтеченский В.М., Милинский А.И. Проектирование зданий и сооружений с учетом организации движения людских потоков. Издание второе, переработанное и дополненное. Москва, Стройиздат, 1979г. – 377 с.

14. Холщевников В.В. Расчёт оптимальных вариантов пешеходных путей в городских узлах // На стройках России, 1983, № 3, с. 15-17.

---



15. Яловой И. О. Имитационное моделирование взаимодействия пешеходов на основе модели социальных сил // Инженерный вестник Дона. 2010. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2009/137](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2009/137).

### References

1. Anastasov M. S., Kocherygin A. S. TDR. 2013. №4, pp. 39–43. URL: [cyberleninka.ru/article/n/razvitie-innovatsionnoy-infrastruktury-metropolitena-megapolisa-upravlencheskiy-aspekt](http://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-innovatsionnoy-infrastruktury-metropolitena-megapolisa-upravlencheskiy-aspekt).

2. Ageev P. M., Savosko S. V., Maslakov M. D. Pozhary i ChS. 2016. №3, pp. 3–16. URL: [cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-raschyota-protsessa-evakuatsii-lyudey-iz-podvizhnogo-sostava-metropolitena](http://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-raschyota-protsessa-evakuatsii-lyudey-iz-podvizhnogo-sostava-metropolitena).

3. Tarancev A. A. Pozharovzryvobezопасnost. 2005. №2, pp. 38–40. URL: [cyberleninka.ru/article/n/o-modelirovanii-dvizheniya-lyudey-tsepochkoy](http://cyberleninka.ru/article/n/o-modelirovanii-dvizheniya-lyudey-tsepochkoy).

4. Porshnev S. V., Yakob D. A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/923](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/923).

5. Xolshhevnikov V. V., Giletich A. N., Ushakov D. V., Parfenenko A. P. Pozharovzryvobezопасnost. 2011. №12, pp. 32–41. URL: [cyberleninka.ru/article/n/obschaya-zakonomernost-izmeneniya-parametrov-dvizheniya-lyudskih-potokov-razlichnogo-funktsionalnogo-kontingenta-v-zdaniyah-i](http://cyberleninka.ru/article/n/obschaya-zakonomernost-izmeneniya-parametrov-dvizheniya-lyudskih-potokov-razlichnogo-funktsionalnogo-kontingenta-v-zdaniyah-i).

6. Samoshin D. A. Pozharovzryvobezопасnost. 2004. №1, pp. 33–46. URL: [cyberleninka.ru/article/n/raschet-vremeni-evakuatsii-lyudey-problemy-i-perspektivy](http://cyberleninka.ru/article/n/raschet-vremeni-evakuatsii-lyudey-problemy-i-perspektivy).

7. Anastasov M. S., Kocherygin A. S. TDR. 2013. №4, pp. 39–44. URL: [cyberleninka.ru/article/n/razvitie-innovatsionnoy-infrastruktury-metropolitena-megapolisa-upravlencheskiy-aspekt](http://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-innovatsionnoy-infrastruktury-metropolitena-megapolisa-upravlencheskiy-aspekt).

8. Kozlov P. I. Vestnik evrazijskoj nauki. 2018. №3. URL: [cyberleninka.ru/article/n/metodika-formirovaniya-kompleksnogo-kriteriya-otsenki-usloviy-dvizheniya-passazhirov-v-prostranstve-zakrytyh-kommunikatsionnyh](http://cyberleninka.ru/article/n/metodika-formirovaniya-kompleksnogo-kriteriya-otsenki-usloviy-dvizheniya-passazhirov-v-prostranstve-zakrytyh-kommunikatsionnyh).



9. Su, G.; Si, B.; Zhi, K.; Li, H. Entropy 2022, 24, pp. 10–26. URL: [doi.org/10.3390/e24081026](https://doi.org/10.3390/e24081026).
10. Ma, J.; Zeng, X.; Xue, X.; Deng, R. Appl. Sci. 2022, 12, pp. 16–44. URL: [doi.org/10.3390/app12031644](https://doi.org/10.3390/app12031644).
11. Xolshhevnikov V. V. Pozharovzryvobezopasnost. 2005. №4, pp. 38–49. URL: [cyberleninka.ru/article/n/psihofiziologicheskie-zakonomernosti-povedeniya-lyudey-pri-dvizhenii-v-peshehodnyh-potokah](http://cyberleninka.ru/article/n/psihofiziologicheskie-zakonomernosti-povedeniya-lyudey-pri-dvizhenii-v-peshehodnyh-potokah).
12. Belyaev S.V. Evakuaciya zdaniy massovogo naznacheniya [Evacuation of public buildings]. M.: Izd-vo Vsesoyuznoj akademii xudozhestv, 1938. 72 p.
13. Predtechenskij V.M., Milinskij A.I. Proektirovanie zdaniy i sooruzhenij s uchetom organizacii dvizheniya lyudskix potokov. Izdanie vtoroe, pererabotannoe i dopolnennoe [Design of buildings and structures taking into account the organization of human flows. Second edition, revised and expanded]. Moskva, Strojizdat, 1979. 377 p.
14. Xolshhevnikov V.V. Na strojkax Rossii, 1983, № 3, pp. 15-17.
15. Yalovoj I. O. Inzhenernyj vestnik Dona. 2010. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2009/137](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2009/137).