



12. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы – URL: <http://base.garant.ru/4179328/>
13. ГОСТ Р ИСО 7250-2007 Базовые измерения человеческого тела в технологическом проектировании. – URL: http://docs.cntd.ru/document/1200060_932
14. Сапунков А. А., Рыбкина М. В. ТОЛСТЫЙ КЛИЕНТ. API+ SPA // Ответственный редактор: Сукиасян АА, к. э. н., ст. преп. – 2014. – С. 214.
15. The state of digital in April 2019: all the numbers you need to know – URL: <https://wearesocial.com/blog/2019/04/the-state-of-digital-in-april-2019-all-the-numbers-you-need-to-know>
16. TADVISOR. Смартфоны (рынок России) – URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Смартфоны_\(рынок_России\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Смартфоны_(рынок_России)).
17. Meier A., Kaufmann M. NoSQL databases // SQL & NoSQL Databases. – Springer Vieweg, Wiesbaden, 2019. – С. 201-218.
18. Cloud Firestore introduction – URL: <https://firebase.google.com/docs/firestore>.
19. Prasanna D. R. Dependency injection. – 2009.
20. Laigner R. et al. Towards a Catalog of Java Dependency Injection AntiPatterns // Proceedings of the XXXIII Brazilian Symposium on Software Engineering. – 2019. – С. 104-113.

© О. И. Евдошенко, А. О. Литвинова, И. В. Аксютин

Ссылка для цитирования:

О. И. Евдошенко, А. О. Литвинова, И. В. Аксютин. Разработка математического обеспечения информационной системы расчета параметров рабочего места // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2020. № 3 (33). С. 79–84.

УДК 692.66:006.354

DOI: 10.35108/isvp20203(33)84-92

МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПАССАЖИРСКОГО ЛИФТА

Д. С. Апрышкин, Г. Ш. Хазанович

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Лифты в жилых и общественных зданиях относятся к числу наиболее массовых подъемно-транспортных установок, обеспечивающих комфортные условия проживания людей и деятельности организаций. Эффективная и безопасная эксплуатация лифтов зависит, прежде всего, от своевременного и качественного технического обслуживания установок, которое, в свою очередь, определяется режимами их эксплуатации. Целью настоящей работы является научное обоснование методики имитационного моделирования режимов работы пассажирского лифта и разработка алгоритма для воспроизведения кинематических характеристик работы главного привода с учетом случайного характера основных влияющих факторов. В качестве числовых характеристик режима работы привода лифта приняты коэффициент машинного времени и удельное число включений. Определена совокупность исходных данных и условий, необходимых для воспроизведения режима работы лифта. Разработаны математические модели, описывающие продолжительность движения, случайное число остановок и общую длительность цикла. Построена общая структура алгоритма имитационного моделирования и программа для ЭВМ. Получены предварительные результаты, адекватные данным диспетчерского контроля.

Ключевые слова: пассажирский лифт, режим работы установки, коэффициент машинного времени, удельное число включений, моделирование рабочего процесса, случайные влияющие факторы, алгоритм расчета случайных характеристик движения и остановок.

METHOD AND ALGORITHM OF SIMULATION SIMULATION OF PASSENGER ELEVATOR OPERATION MODES

D. S. Apryshkin, G. Sh. Khazanovich

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Elevators in residential and public buildings are among the most widespread lifting-transportation facilities that provide comfortable housing conditions for people and operational environment for organizations. Efficient and safe operation of elevators depends, first of all, on timely and high-quality maintenance of facilities, which, in turn, is determined by their operation modes. The purpose of this work is to scientifically substantiate the simulation modeling method of the passenger elevator operating modes and to develop an algorithm for reproducing the main drive operation kinematic parameters considering the random nature of the main influencing factors. The machine time index and specific number of switching's are taken as the numerical parameters of the elevator drive operating mode. The total initial data and conditions necessary to reproduce the elevator operating mode are determined. Mathematical models that describe the movement duration, the random number of stops and the total cycle duration are developed. The simulation modeling algorithm general structure and the computer program are developed. The preliminary results relevant to the supervisory monitoring data are obtained.

Keywords: passenger elevator, facility operation mode, machine time index, specific number of switching's, operating procedure simulation, random influencing factors, algorithm for calculation of random parameters of movement and stops.

Введение

На сегодняшний день в Российской Федерации эксплуатируется более 450 тыс. лифтов в жилом фонде и различных учреждениях. Более 25 % из них отработали свой нормативный срок, но продолжают эксплуатироваться. По итогам 12 месяцев 2019 года региональными операто-

рами капитального ремонта выполнено работ по замене 17662 лифтов в 70 субъектах Российской Федерации.

Наряду с этим, ежегодно происходит прирост многоэтажного строительства по всей стране, что также существенно увеличивает фонд лифтового оборудования, Согласно проекту «Стра-

тегии развития российской лифтовой отрасли», разработанного Комиссией по вопросам лифтового хозяйства Общественного совета при Минстрое России [1], прогнозируется существенный рост объема рынка лифтов. Так, объем замен лифтового оборудования возрастет к 2024 г. до 30 тыс. единиц, объем поставок лифтов для нового строительства – до 44 тыс. единиц.

Количество и технические характеристики лифтового оборудования при проектировании новых зданий подбираются исходя из этажности строения и планового количества проживающих [2,3], чтобы полностью удовлетворять потребности жильцов. Процесс обслуживания лифтов для поддержания их в исправном состоянии одинаков для всех объектов лифтового хозяйства. При составлении плана по техническому обслуживанию лифтов не учитываются такие факторы, как плотность заселения этажей и квартир, а также реальное время работы лифта, количество включений привода в единицу времени. Несмотря на свою идентичность по этажности и количеству лифтового оборудования, полностью одинаковые дома могут в значительной мере отличаться по количеству жильцов, а также по степени использования лифтового оборудования, что существенно сказывается на времени работы, эквивалентных нагрузках, испытываемых лифтовым оборудованием. Два совершенно одинаковых лифта, находящиеся в одном доме, как правило, могут эксплуатироваться в совершенно разных режимах, в зависимости от частоты их использования, количества вызовов лифта, длительности поездок, что приводит к преждевременному износу одного лифтового оборудования по сравнению с другим, но при этом плановый срок эксплуатации их будет одинаков. Согласно Техническому регламенту Таможенного союза «Безопасность лифтов» [4, 5] и другим документам [6–10] система технического обслуживания лифтового оборудования предусматривает регулярные работы по поддержанию лифтов в исправном состоянии именно по срокам эксплуатации, но при этом не учитывает реальное время работы основных узлов лифта и режимы их эксплуатации.

За состоянием каждого современного лифта осуществляется круглосуточный контроль при помощи различных систем диспетчеризации лифтового оборудования [11]. И помимо информации об исправности или поломке в режиме реального времени, эти программы позволяют получить данные о чистом времени работы лифта за час, сутки или другой промежуток времени, а также о количестве включений главного привода в единицу времени. Эта информация может позволить оценить реальные режимы эксплуатации лифтов и выработать индивидуальный план обслуживания лифтового оборудо-

вания в соответствии с установленным режимом использования. Индивидуальный подход в системе поддержания лифтового оборудования в исправном состоянии позволит сократить вероятность возникновения отказов лифтов, которые подвергаются более интенсивным нагрузкам, и поднять уровень качества труда исполнителей по обслуживанию лифтового хозяйства. Обслуживающему персоналу будет проще выявить подверженное наибольшему износу оборудование и своевременно проводить ряд профилактических мероприятий по предотвращению отказных ситуаций.

В работе [12] представлена методика определения реальных показателей работы лифтовых установок с учетом сведений, полученных из программ диспетчеризации. Методика [13] позволяет оценить режимы работы лифтовых установок уже введенных в эксплуатацию и проработавших длительный промежуток времени. Вместе с тем, для получения необходимой информации о режимах работы лифтовых установок в проектируемых, ранее не эксплуатируемых жилых домах, данная методика не может быть использована. С целью обоснования необходимых рекомендаций по периодичности обслуживания лифтов в проектируемых домах на начальных этапах эксплуатации актуальной является задача создания методик и программ моделирования режимов работы лифтового оборудования на стадиях проектирования и ввода в эксплуатацию. Это позволит осуществлять проверку правильности принятых проектных решений, прежде всего по параметрам главного привода, минимизировать вероятность возникновения отказного состояния оборудования за счет эффективной организации технического обслуживания. Система имитационного моделирования работы лифтовой установки позволит в целом поднять уровень обслуживания лифтов, вводимых в эксплуатацию.

Целью настоящей работы является научное обоснование методики имитационного моделирования режимов работы пассажирского лифта и разработка алгоритма для воспроизведения кинематических характеристик работы главного привода с учетом случайного характера основных влияющих факторов. Результаты моделирования должны позволить оценить уровень адекватности параметров режима при моделировании в сравнении с аналогичными показателями реального процесса.

Основные задачи настоящей работы:

- разработка качественного описания изменения кинематических характеристик и режимов работы лифта;
- обоснование главных показателей, влияющих на уровень нагрузки привода лифтовой установки;

– определение совокупности исходных данных и условий, необходимых для воспроизведения режима работы лифта;

– установление совокупности случайных факторов, влияющих на получение конечных режимных характеристик, и математические модели для их описания;

– разработка общей структуры имитационной модели;

– предварительная оценка адекватности результатов моделирования и эксплуатационных показателей.

1. Кинематические характеристики и режимы работы пассажирского лифта

Как известно, лифт функционирует в цикловом режиме. Каждый цикл содержит этапы движения кабины с пассажирами и без них, периоды посадки и высадки пассажиров, а также отрезок времени, в течение которого идет процесс ожидания очередного цикла. Совокупность перечисленных этапов определяют нагрузку силовых элементов: главного привода, трансмиссии, тягового органа, привода дверей и др.

Для тягового электропривода лифтовой установки наряду с силовой нагрузкой [14] большое значение имеют кинематические характеристики, к которым нужно отнести относительную продолжительность включенного состояния в общем времени цикла и количество включений (пусков и торможений) в единицу времени. Эти характеристики определяют температурные условия электродвигателя, которые существенно влияют на выбор стандартного временного режима двигателя при проектировании лифтовой установки, а также его скорость изнашивания в период эксплуатации.

В качестве основных характеристик режима работы привода лифтовой установки в настоящей работе приняты:

– коэффициент машинного времени, K_m , как отношение чистого времени работы двигателя τ_m к общему времени эксплуатации по перевозке пассажиров τ , включая продолжительность ожидания очередного цикла, Δ ;

– удельное число включений двигателя в единицу (минуту) чистого машинного времени (ЧМВ), n , 1/мин.

Каждый из этих показателей представляет собой случайную величину, изменяющуюся от цикла к циклу. Для оценки кинематического режима работы привода должны определяться средние значения K_m и n , а также их функциональные вероятностные характеристики для различных отрезков времени суток, дней недели и т.д. При этом методы определения значений этих показателей могут быть унифицированы.

2. Совокупность исходных данных и условий, необходимых для воспроизведения режима работы лифта

Объектом имитационного моделирования в настоящей работе является одиночный пассажирский лифт, обслуживающий здание с числом этажей N . Число N принимает фиксированные значения 9; 16; 22; 24 и другие согласно градостроительным стандартам. Расстояние (длина пролета) между этажами – h , для расчетов и моделирования принято одинаковым для всех вариантов, $h = 3,0$ м.

Имеет значение также условная численность жильцов, пользующихся данным лифтом. На начальном этапе моделирования этот фактор может учитываться коэффициентом β , с помощью которого корректируется средняя продолжительность ожидания очередного цикла Δ . При условно нормальной плотности численности жильцов $\beta = 1$. О вводе величины Δ как одного из исходных данных процесса моделирования информация приведена ниже.

Лифтовая установка в данном жилом доме характеризуется совокупностью параметров:

– грузоподъемностью, измеренной максимальным количеством пассажиров $R = 4; 5; 8$ человек, и другими возможными значениями в соответствии с действующими стандартами;

– скоростью установившегося движения, v , м/с, принимаемой согласно технической характеристике лифта; для большинства лифтов в зданиях с числом этажей $N \leq 24$ скорость составляет 1 м/с.

Величины N , h , v , R являются основными исходными данными процесса моделирования. Наряду с этим, для выполнения процедур имитационного моделирования необходимо знание вероятностных характеристик случайных величин, непосредственно участвующих в формировании режима работы привода лифта: функций или рядов распределения. К ним относятся номера этажей, между которыми в данном цикле перемещается кабина лифта; количество пассажиров, перемещающихся от начала цикла, продолжительность цикла. Эти вероятностные характеристики также необходимо отнести к исходным данным.

При моделировании движений кабины лифта перед началом очередного цикла необходимо иметь информацию о трех случайных уровнях, между которыми происходит перемещение кабины:

– M – номер этажа вызова, $M = 1, 2, \dots, N-1, N$;

– L – номер этажа стояния, $L = 1, 2, \dots, N-1, N$;

– S – номер конечного этажа назначения, $S = 2, 3, \dots, N-1, N$ – при движении кабины вверх и $S=1$ – при движении вниз.

Значения случайных чисел M , L и S моделируются в соответствии с заданными рядами распределения. Для величин L и S – это ряды равномерной плотности.

Особые требования к моделированию величины M – номера этажа вызова. С одной стороны, значение M должно формироваться по закону равномерной плотности, согласно которому вероятность вызова лифта с любого этажа $M = 1, 2, \dots, N$ одинакова. С другой стороны, необходимо учитывать условие примерного равенства количества вызовов лифта для поездки пассажиров вниз на первый этаж и для поездки вверх с первого этажа на произвольный этаж S . Это логичное требование определяется тем, что число жильцов, покидающих дом при движении вниз, с этажей $M = 2, 3, \dots, N$ должно равняться числу жильцов, возвращающихся в дом при движении вверх с этажа $L = 1$.

Для целей моделирования вводится случайная переменная MV , характеризующая место (т.е. этаж или группу этажей), с которого производится вызов лифта для осуществления очередного цикла. Переменная MV может принимать с равной вероятностью два значения: 0 или 1; при $MV = 0$ – вызов производится с промежуточных этажей $M = 2, 3, \dots, N-1, N$ для поездки вниз на первый этаж без промежуточных остановок; при $MV = 1$ – вызов производится с первого этажа, $M = 1$, для поездки вверх с возможными промежуточными остановками.

При случайном выборе этажа вызова для поездки вниз закон распределения случайной величины M – равномерной плотности.

Для моделирования случайной величины r – количества пассажиров, перевозимых за данный цикл, необходимо задать ряд распределения $P(r)$, где P – обозначает вероятность соответствующего события. Значения r находятся в пределах $1 \leq r \leq R$. Многоугольники распределения случайной величины r для лифтов грузоподъемностью $R = 5$ и 8 человек приведены на рисунке 1.

Данные по распределениям $P(r)$ получены на основе предварительных статистических измерений, согласно которым с увеличением числа пассажиров r вероятность $P(r)$ уменьшается.

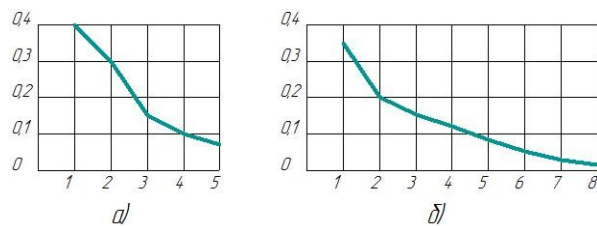


Рис. 1. Многоугольники распределения $P(r)$:
а – $R = 5$; б – $R = 8$.

Моделирование продолжительности цикла τ является ключевым моментом при реализации всей программы имитационного моделирования режима работы главного привода лифта. От правильного выбора функции распределения случайной величины τ зависят конечные результаты моделирования – K_m и n . Прежде

всего, необходимо обосновать математическую форму закона распределения.

Случайная величина τ_i формируется в соответствии с принципами теории массового обслуживания [15], а именно, для последовательных вызовов лифта, как независимых событий, интервал τ_i должен моделироваться по экспоненциальному закону, т. е. функция $F(\tau)$ и плотность вероятности $f(\tau)$ случайной величины τ должны вычисляться по известным формулам:

$$F(\tau) = 1 - e^{-\frac{\tau}{m_\tau}}; \quad f(\tau) = \frac{1}{m_\tau} e^{-\frac{\tau}{m_\tau}}. \quad (1)$$

где m_τ – среднее значение интервала между соседними вызовами, мин.

Для моделирования случайной величины τ по экспоненциальному закону параметр распределения m_τ должен быть задан. Эта величина с большой достоверностью для конкретных условий может быть определена на основе аппаратных наблюдений, выполненных ОАО «Лифтсервис» [3]. Вместе с тем необходима разработка единой расчетной концепции, позволяющей определить расчетным путем среднего значения продолжительности цикла.

Задача формулируется следующим образом.

По заданному среднему значению коэффициента машинного времени K_{mf} , конструктивным характеристикам лифтовой установки N, h, v и режиму работы лифтовой установки, зависящему от случайного чередования этажей M, L и S , построить математическую модель средней продолжительности цикла, т. е. найти зависимость

$$\tau_{cp} = f(N, h, v, K_{mf}, M, L, S). \quad (2)$$

Воспользуемся общеизвестным соотношением для расчета продолжительности цикла

$$\tau = \frac{\tau_m}{K_m}. \quad (3)$$

Формула (3) может рассматриваться как для отдельного цикла работы лифта, так и для произвольной совокупности случайных циклов, выполненных в аналогичных условиях эксплуатации. В последнем случае величины τ_m и K_m представляют собой средние значения за соответствующий период. В формуле (3) величина K_m принимается известной из результатов записей фактических режимов работы лифта, проведенных ООО «Лифтсервис» [3].

Продолжительность работы лифта в каждом цикле может быть определена из соотношений, различающихся в зависимости от направления движения кабины лифта: А – вниз, Б – вверх.

При движении лифта вниз с этажа вызова M на этаж назначения $S=1$

$$\tau_{mA} = \frac{h}{60v} [|M-L| + (M-1)]. \quad (4)$$

Первый член внутри квадратных скобок представляет собой число пролетов между этажами, которые проходит лифт с этажа стояния L до этажа вызова M . При этом если $M > L$, кабина движется вверх, при $M < L$ – кабина движется вниз. Второй член внутри квадратных

скобок представляет собой число пролетов, которые проходит кабина с этажа M до этажа назначения $S=1$. Найдем среднее значение случайной величины τ_{mA} , принимая, что величины M и L имеют равномерное распределение. Если пределы изменения этих случайных величин составляют $1 \leq L \leq N$, а $2 \leq M \leq N$, то их средние значения соответственно равны:

$$L_{cp} = \frac{N-1}{2}; \quad M_{cp} = \frac{N-2}{2}. \quad (5)$$

Тогда среднее значение продолжительности полцикла (А) составит:

$$(\tau_{mA})_{cp} = \frac{h}{60v} \left[\left(\frac{N-2}{2} - \frac{N-1}{2} \right) + \left(\frac{N-2}{2} - 1 \right) \right] = \frac{h}{60v} \left(\frac{N-3}{2} \right). \quad (6)$$

При движении кабины вверх с 1-го этажа на этаж $2 \leq S \leq N$:

$$\tau_{mB} = \frac{h}{60v} [(L-1) + (S-1)]. \quad (7)$$

По аналогии с предыдущим средняя продолжительность работы главного привода составит при условии, что диапазон изменения номера этажа назначения равен $2 \leq S \leq N$:

$$\tau_{mB} = \frac{h}{60v} [(L-1) + (S-1)]. \quad (8)$$

Тогда

$$(\tau_{mB})_{cp} = \frac{h}{60v} \left[\left(\frac{N+1}{2} - 1 \right) + \left(\frac{N+2}{2} - 1 \right) \right] = \frac{h}{60v} \left(N - \frac{1}{2} \right). \quad (9)$$

В соответствии с принятой технологией моделирования, среднее количество циклов вида А и Б одинаково, поэтому можно записать:

$$\tau_{m,cp} = \frac{(\tau_{mA})_{cp} + (\tau_{mB})_{cp}}{2}. \quad (10)$$

Подставляя в (10) выражения для составляющих из (6) и (9), получим

$$\tau_{m,cp} = \frac{h}{60v} \left(\frac{\frac{N-2}{2} + \frac{2N-1}{2}}{2} \right) = \frac{h}{60v} \frac{3N-3}{4}. \quad (11)$$

С учетом соотношения (3) и условной плотности жильцов β средняя продолжительность цикла, назначаемая как исходная величина для запуска процесса моделирования режима работы главного привода лифтовой установки, имеет вид:

$$\tau_{cp} = \frac{3}{4} \cdot \frac{h}{60v} \frac{N-1}{K_{mf}} \beta. \quad (12)$$

При использовании τ как базовой величины при формировании длительности цикла возникли противоречия, суть которых заключается в следующем:

- продолжительность цикла τ моделируется как независимая случайная величина по экспоненциальному закону (1);

- величина τ теоретически изменяется в пределах $0 \leq \tau \leq \infty$ со средним заранее задаваемым значением $\tau_{m,cp}$;

- при этом вероятность генерирования малых значений продолжительности цикла высокая и для них весьма вероятно соотношение $\tau_i < \tau_m$, т. е. продолжительность цикла меньше длительности движения лифта в данном цикле;

- это противоречит физической сущности процесса. Для этих циклов в алгоритме моде-

лирования должно быть принято решение об их игнорировании;

- исключение циклов вида $\tau_i < \tau_m$ приводит к искажению реализуемого при моделировании среднего значения τ_{cp} и среднего значения коэффициента машинного времени $K_{m,cp}$.

С учетом изложенного представляется целесообразным моделировать не продолжительность цикла τ в целом, а только продолжительность паузы в каждом цикле Δ . Тогда в общем случае продолжительность цикла τ складывается из длительности движения лифта τ_m , продолжительности паузы Δ и времени посадки-высадки пассажиров на каждой остановке $\tau_{пз}$, т. е.

$$\tau = (\Delta + \tau_m + \tau_{пз}) \beta.$$

С учетом (3) получаем соотношение

$$\frac{\tau_m}{K_m} = (\Delta + \tau_m + \tau_{пз}) \beta \quad \text{или} \quad \Delta = \frac{1}{\beta} \left(\frac{\tau_m}{K_m} - \tau_m - \tau_{пз} \right) = \frac{1}{\beta} \left[\tau_m \left(\frac{1}{K_m} - 1 \right) - \tau_{пз} \right].$$

Переходя к средним значениям, можно записать

$$\Delta_{cp} = \frac{1}{\beta} \left[\tau_{m,cp} \left(\frac{1}{K_{mf}} - 1 \right) - \tau_{пз} \right]. \quad (13)$$

Величину средней продолжительности работы главного привода в период моделирования можно заимствовать из ранее сделанного вывода (формула 11). Откуда окончательно получаем приближенное соотношение для вычисления средней продолжительности паузы в цикле:

$$\Delta_{cp} = \frac{1}{\beta} \left[\frac{3}{4} \cdot \frac{h}{60v} (N-1) \cdot \frac{1-K_{mf}}{K_{mf}} - \tau_{пз} \right]. \quad (14)$$

При этом величина Δ моделируется по экспоненциальному закону, плотность вероятности которого

$$f(\Delta) = \frac{1}{\Delta_{cp}} e^{-\frac{\Delta}{\Delta_{cp}}}. \quad (15)$$

В формуле (14) при определении средней продолжительности паузы для ожидания очередного цикла величина $\tau_{пз}$ зависит от количества остановок $F_{пз}$, на которых производится посадка-высадка пассажиров. Если задаться по результатам статистических замеров средним временем посадки-высадки пассажиров в отдельной остановке $t_{1,пз}$, то искомое время $\tau_{пз}$ составит:

$$\tau_{пз} = F_{пз} \cdot t_{1,пз}. \quad (16)$$

Наиболее сложным вопросом для достоверного определения $\tau_{пз}$ является обоснование среднестатистического значения $F_{пз}$ для каждого конкретного лифта. В общем случае при прочих равных условиях величина $F_{пз}$ является функцией основных параметров лифта: числа этажей N , грузоподъемности R и вероятностного распределения числа пассажиров $P(r)$, которые в данном цикле совершили посадку в лифт. Запишем для начала в общем виде

$$\tau_{пз} = F_{пз}(N, R, P(r)) \cdot t_{1,пз}. \quad (17)$$

Рассмотрим более детально определение среднего числа посадок-высадок $F_{пз,cp}(N, R, P(r))$ пассажиров в период длительной работы лифтовой установки для циклов вида А и Б. При этом,

как уже ранее указывалось, остановки для посадки-высадки пассажиров могут быть в конечных точках $F_{клев}$ маршрута или промежуточными $F_{н.ле}$.

При движении лифта вниз с любого этажа на первый этаж промежуточные остановки не предусмотрены, возможны только остановки в конечных точках маршрута. Лифт вызывается на этаж $2 \geq M \geq N$ с произвольного этажа стояния $1 \leq L \leq N$. На этаже M производится посадка, далее лифт следует до первого этажа, где производится высадка пассажиров. Таким образом, в режиме А происходит 2 операции посадки-высадки, т. е. $F_{клев} = 2$.

При движении лифта **вверх** с первого этажа до этажа назначения S (режим Б) операции посадки-высадки происходят на конечных и промежуточных остановках. Конечных остановок, как и в прошлом случае, – $F_{клев} = 2$.

Вероятное количество промежуточных остановок рассчитывается по методике, изложенной ниже.

3. Методика расчета и моделирования случайного числа остановок лифта при движении с пассажирами вверх с первого этажа

В настоящем разделе рассматривается вопрос определения возможного случайного числа остановок, которое может совершить лифт при движении вверх с пассажирами в данном цикле от начальной до конечной точки маршрута.

Введем дополнительные обозначения:

$S-1$ – число пролетов между этажами от первого до конечного этажа назначения;

j – число, характеризующее группу промежуточных остановок лифта при движении вверх от первого этажа до этажа назначения: $j=0$, означает, что лифт не делает промежуточных остановок; $j=1$ – лифт делает только одну промежуточную остановку; $j=2$ – лифт делает две промежуточные остановки и т.д. Величина j может принимать значения от минимального, $j=0$, до максимального, которое зависит от числа пассажиров r и числа пролетов между этажами $S-1$;

bk_j – возможное случайное число вариантов остановок данной, j -й группы, которое может совершить лифт за один цикл; для обозначения группы остановок переменной bk присваивается подстрочный индекс: $bk_0, bk_1, bk_2, \dots, bk_{r-1}$;

B – общее случайное число остановок, которое может сделать лифт в данном i -ом цикле. Это число устанавливается в результате моделирования из совокупности всех вариантов возможного числа остановок; каждому варианту присваивается на основе расчета определенная вероятность возникновения события.

Постановка задачи: в жилом доме с этажностью N работает одиночный лифт условной грузоподъемностью R . В лифт на первом этаже входит число пассажиров $1 \leq r \leq R$, каждый из которых в общем случае имеет свой этаж назначения в пределах $(2, N)$. При этом в каждом

фиксированном цикле работы лифта существует номер максимального этажа назначения S для одного или нескольких пассажиров. Величина S , как и величина r являются случайными, но уже конкретно определенными на этапе установления числа остановок.

Очевидно, что число остановок лифта на отрезке пути $(2, S)$ является случайным и может быть различным, но есть ограничения:

– общее число остановок в цикле не может превышать число пассажиров, т. е.

$$B \leq r; \quad (18)$$

– общее число остановок не может превышать число пролетов, т. е.

$$B \leq S-1. \quad (19)$$

В каждом конкретном случае может быть выполнено одно из неравенств (18) или (19) так, что реализуемое число остановок соответствует минимальному значению из этих двух условий.

При числе пассажиров $r = 1, 2, \dots, R$, возможна реализация различного числа групп остановок j . При этом если выполняется условие (18), то возможное число видов остановок, включая конечную, будет выбираться случайным образом из вариантов:

$$\text{если } r \leq S-1, \text{ то } j = 1, 2, \dots, r; \quad (20)$$

$$\text{если } r > S-1, \text{ то } j = 1, 2, \dots, S-1. \quad (21)$$

Условия (20) и (21) описывают все возможные группы сочетаний остановок, включая и те, которые не содержат варианта конечной остановки на этаже S . Из этого общего количества возможных сочетаний необходимо выбрать только те, в составе которых содержится конечная остановка на этаже S . Для этого из общего числа групп остановок j необходимо исключить те группы, которые не содержат варианты с конечной остановкой. Таким образом, условия (20) и (21) примут вид:

$$\text{если } r \leq S-1, \text{ то } j = 0, 1, 2, \dots, r-1; \quad (22)$$

$$\text{если } r > S-1, \text{ то } j = 0, 1, 2, \dots, S-2. \quad (23)$$

Количество остановок каждой группы представляют собой число сочетаний группы остановок j по числу пролетов $S-2$, на которых эта группа остановок может быть реализована, т.е.

$$bk_j = C_{S-2}^j = \frac{(S-2)!}{j!(S-2-j)!} \quad (24)$$

Рассмотрим применение формулы (24) и условий (22) и (23) на примерах.

Пример 1. Исходные условия: $N=9, R=5$.

Случайные значения, сгенерированные в начальной части программы: число пассажиров в лифте $r=4$, максимальный этаж назначения $S=8$.

Т. к. выполняется условие (22): $r \leq S-1$, то $j=0, 1, 2, \dots, r-1=0, 1, 2, 3$.

При $j=3$, т.е. при реализации трех промежуточных остановок в течение цикла подъема лифта, количество возможных вариантов составит:

$$bk_3 = C_{S-2=6}^{j=3} = \frac{6!}{3!(6-3)!} = \frac{4 \cdot 5 \cdot 6}{1 \cdot 2 \cdot 3} = 20.$$

Легко убедиться в правильности полученного решения, перечислив непосредственно

варианты сочетаний этажей остановок группы $j=3$: по 3 промежуточные плюс одна остановка на конечном этаже.

Аналогичные расчеты выполняем

при $j=2$: $bk_2 = C_{S-2=6}^{j=2} = 15$,

при $j=1$: $bk_1 = C_{S-2=6}^{j=1} = 6$,

при $j=0$: $bk_0 = C_{S-2=6}^{j=0} = 1$.

Таким образом, общее количество вариантов остановок при условиях

$$r=4, S=8 \text{ составит: } B=20+15+6+1=42.$$

Для дальнейшего моделирования необходимо составить ряд распределения для случайной величины bk_j ; вероятность события bk_j обозначим p_{bk_j} ; величина p_{bk_j} рассчитывается как отношение

$$p_{bk_j} = bk_j / B. \tag{25}$$

Для условий данного примера получаем следующий ряд распределения дискретной случайной величины bk .

Таблица 1

Ряд распределения дискретной случайной величины bk

Группа остановок, $j^)$	0+1	1+1	2+1	3+1	Всего
Число вариантов остановок данной группы, bk_j	$bk_0=1$	$bk_1=6$	$bk_2=15$	$bk_3=20$	$B=42$
Вероятность данного вида остановок, p_{bk_j}	0,024	0,143	0,357	0,476	1,000

*) первая цифра – число промежуточных остановок, вторая – число конечных остановок.

Пример 2. Исходные условия: $N=9, R=5$.

Случайные значения, сгенерированные в начальной части программы: $r=5, S=4$.

Т. к. выполняется условие (23) $r>S-1$, то $j=0,1,2,\dots,S-2$, т.е. $j=0,1,2$.

При $j=2, bk_2 = C_{S-2=2}^{j=2} = 1$; при $j=1, bk_1 = C_{S-2=2}^{j=1} = 2$; при $j=0, bk_0 = C_{S-2=2}^{j=0} = 1$.

Таблица 2

Ряд распределения для случайной величины bk :

Группа остановок, $j^)$	$j=0(0+1)$	$j=1(1+1)$	$j=2(2+1)$	Всего
Число остановок данной группы, bk_j	$bk_0=1$	$bk_1=2$	$bk_2=1$	$B=4$
Вероятность данной группы остановок, p_{bk_j}	0,25	0,50	0,25	1,0

Полученные ряды распределения являются основанием для моделирования случайного числа промежуточных остановок в каждом цикле работы лифта методом статистических испытаний. Этим методом предварительно определяются также средние значения числа промежуточных остановок при идентификации среднего значения времени ожидания очередного цикла – формула (14)

4. Общая структура алгоритма моделирования

В связи с тем, что полный алгоритм имитационного моделирования режима работы пассажирского лифта с учетом действия многих случайных факторов является довольно громоздким, в настоящей статье предлагается рассмотреть в сокращенном виде общую структуру алгоритма, представленную на рисунке 2. Основными структурными элементами алгоритма имитационного моделирования являются:

1 – блок ввода исходных данных: характеристики жилого дома, лифта, рядов распределения номеров этажей стояния, вызова и конечного назначения, количества пассажиров в лифте, данных для расчета среднего значения времени ожидания очередного цикла;

2 – блок моделирования случайных значений номеров этажей стояния, вызова и конечного назначения;

3 – условие выбора разновидности цикла: А (движение вниз) или Б (движение вверх);

4 – ветвь алгоритма при формировании цикла А: расчет чистого машинного времени цикла и числа конечных остановок;

5 – ветвь алгоритма при формировании цикла Б: расчет числа конечных остановок, чистого машинного времени цикла, моделирование числа пассажиров в лифте;

6 – продолжение ветви алгоритма формирования цикла Б для расчета случайного числа промежуточных остановок: проверка условия $r-S+1 \leq 0$; формирование групп остановок $j=1,2,\dots, Q$ ($Q=r-1$ или $Q=S-2$), вычисление bk_j - количества вариантов остановок в каждой группе; построение рядов распределения $P(bk_j)$, моделирование номера группы $j=r(P_{bk_j})$, окончательное определение числа промежуточных остановок J ;

7 – ветвь алгоритма для вычисления конечных показателей цикла: продолжительность ожидания очередного цикла, общая продолжительность цикла, коэффициент машинного времени, удельное числа включений, общее время моделирования;

8 – формирование условий перехода к следующему циклу.

На рисунке 3 приведены отдельные фрагменты конечных результатов моделирования лифта в жилом доме с параметрами: $N=16, R=5, K_f=0,12$.

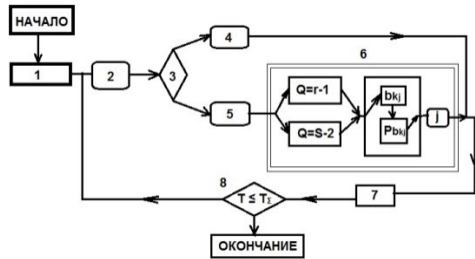


Рис. 2. Общая структура алгоритма имитационного моделирования режима работы

Гистограммы отражают отдельные результаты моделирования 1000 циклов, при общей про-

должительности работы лифта 78,25 час., чистом машинном времени – 11,66 час. Предварительное сравнение данных, полученных расчетным путем, по материалам опытного наблюдения и результатам моделирования свидетельствует о достаточной их сходимости (индексом f обозначены расчетные или экспериментальные данные): средняя продолжительность цикла – $\tau_{ср.f}/\tau_{ср} = 4,69/5,05$ мин; средний коэффициент машинного времени – $K_{mf}/K_m = 0,120/0,149$; средняя частота включений в минуту чистого машинного времени – $n_f/n = 4,14/4,0$ 1/мин.

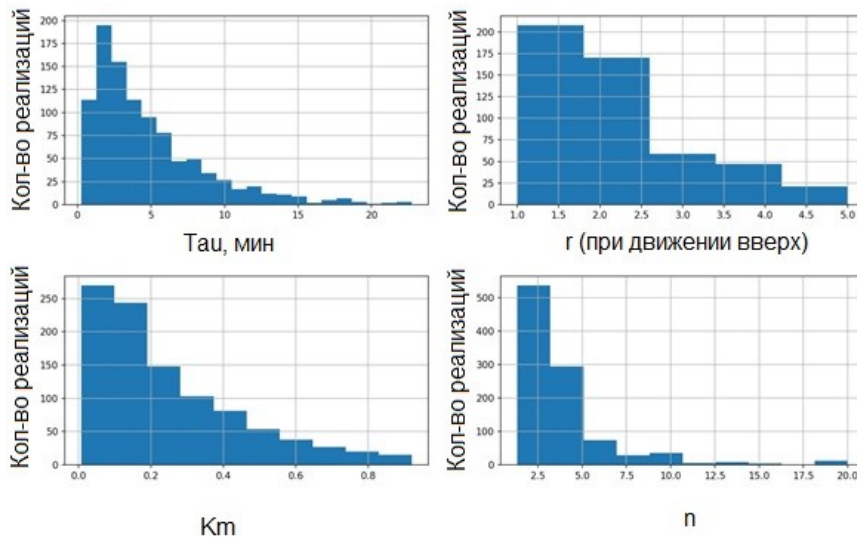


Рис. 3. Результаты моделирования режимов работы лифта – пример. Исходные условия $N=16, R=5, K_m=0,12, \Delta=4,13$ мин, $\beta=1$ ($\tau_{ср}$ – продолжительность цикла)

Заключение

1. Обоснована актуальность направления работ по созданию математических и компьютерных инструментов, позволяющих оценивать силовые и кинематические характеристики пассажирских лифтов, работающих в условиях случайных воздействий.
2. Выполнены исследования, направленные на разработку методики и алгоритма имитационного моделирования режимов работы пассажирского лифта с учетом действия основных случайных факторов.
3. Обоснована совокупность исходных данных и условий, необходимых для воспроизведения режима работы лифта. Получены математические модели для формирования системы исходных данных и условий эксплуатации лифта.

4. Разработанный алгоритм положен в основу соответствующей компьютерной программы, позволяющей воспроизводить в течение произвольного отрезка времени на стадиях проектирования и эксплуатации лифтовых установок их основные кинематические характеристики – коэффициент машинного времени и удельное число включений привода.

5. Предварительная оценка соответствия результатов моделирования и аппаратных наблюдений свидетельствуют о достаточном уровне соответствия расчетных и экспериментальных данных.

Более детальный анализ результатов моделирования и влияния важнейших факторов на показатели режимов работы лифтовых установок будет представлен в очередных публикациях.

Список литературы

1. Стратегия развития российской лифтовой отрасли для эффективной реализации национального проекта «Жилье и городская среда и программы замены лифтов в многоквартирных домах на период 2020 -2025 гг.» [Электронный ресурс] // Общественный совет при Министерстве строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, Комиссия по вопросам лифтового хозяйства: [сайт]. [2019]. URL: http://www.lift-press.ru/img/img_post/ID_8373/strategiya_liftovoj_otrasli_20-25.pdf (дата обращения: 07.08.2020)
2. Обеспечение безопасности пассажирского канатного транспорта на этапе проектирования /Месхн Б.Ч., Короткий А.А., Панфилов А.В.// Вестник Донского государственного технического университета. - 2016. - № 3. - С. 133-140.

3. Короткий А.А., Котельников В.С., Маслов В.Б. Экспертиза промышленной безопасности и оценка риска для обоснования безопасности грузоподъемных машин, отработавших нормативный срок службы // Безопасность труда в промышленности. Вып. 2 – М., 2013. – с. 68-74
4. ТР ТС 011/2011. Технический регламент Таможенного союза. Безопасность лифтов [Электронный ресурс] // Решение Комиссии Таможенного союза от 18.10.2011 N 824 (ред. от 19.12.2019) "О принятии технического регламента Таможенного союза "Безопасность лифтов". Доступ из справ.- правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Распоряжение от 10 февраля 2014 года № 05-14-43/4 «Об утверждении Регламента технического обслуживания пассажирских лифтов» [Электронный ресурс] // Правительство Москвы. Департамент жилищно-коммунального хозяйства и благоустройства города Москвы: [сайт]. [2014]. URL:<http://docs.cntd.ru/document/456083469> (дата обращения: 07.08.2020)
6. Об организации безопасного использования и содержания лифтов, подъемных платформ для инвалидов, пассажирских конвейеров (движущихся пешеходных дорожек), эскалаторов, за исключением эскалаторов в метрополитенах [Электронный ресурс] // Постановление Правительства РФ от 24 июня 2017 г. № 743. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. Лифты электрические пассажирские. Параметры, контролируемые при проверке исправности / ООО ИКЦ «ИНОК»; Под ред. В. М. Дудко. — Люберцы; Владимир: Изд-во «ФОЛИАНТ». - 2000. — 95 с.
8. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС. - 2001. - 216 с.
9. Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов: ПБ 10—558— 2003. Серия 10. Вып. 26 / Колл. авт. — М.: ГУП «НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. — 176 с.
10. Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов. ПБ 10-558-03. Серия Безопасность труда России. Моркнига, 2013
11. Повышение эффективности управления канатным транспортом / А.А. Короткий, В. М. Приходько, Г. В. Кустарев, А. В. Панфилов и др. // Инновации и инвестиции. - 2013. - № 7. - С. 251-253
12. Хазанович Г.Ш., Апрышкин Д.С. Оценка нагруженности силовых элементов пассажирского лифта по результатам регулярного мониторинга // Безопасность техногенных и природных систем/ Сетевой электронный журнал ДГТУ. Вып. 1, 2020, с. 32-41. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-nagruzhennosti-silovyh-elementov-passazhirskogo-lifta-po-rezultatam-regulyarnogo-monitoringa/viewer>
13. Отроков, А.В., Хазанович, Г.Ш., Апрышкин, Д.С. Имитационное моделирование работы пассажирского лифта / Государственная регистрация программы для ЭВМ Заявка № 2018662780 от 14.11.2018. Опубликовано 27.11.18 г., Бюл. №12
14. Khazanovich, G.S., Otrokov, A.V., Aprishrin, D.S. Computer Modeling of Dynamic Processes of Passenger Elevators at Casual External Influence (Компьютерное моделирование динамических процессов пассажирских лифтов при случайных внешних воздействиях) /2018. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 2018, pp. 1-6. / doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602877.
15. Гнеденко, Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. - М.: Наука, 2017. - 432 с.

© Д. С. Апрышкин, Г. Ш. Хазанович

Ссылка для цитирования:

Д. С. Апрышкин, Г. Ш. Хазанович. Методика и алгоритм имитационного моделирования режимов работы пассажирского лифта // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2020. № 3 (33). С. 84–92.

УДК 332.85

ОСОБЕННОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ НЕДВИЖИМОСТИ НА ВТОРИЧНОМ РЫНКЕ ЖИЛЬЯ

С. Ю. Калашников, Ю. С. Калашникова, Е. В. Шилова, А. С. Голованова

Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

Рассмотрены систематизация и предлагаемые численные параметры архитектурно-планировочных показателей, позволяющие объективно оценивать преимущества и недостатки продаваемых квартир в многоквартирных домах. Предлагаемые показатели оценочной системы объективно характеризуют уровень потребительских качеств квартиры в единой шкале. Совокупность показателей может быть достаточно легко изменена добавлением необходимых или исключением мало актуальных потребительских качеств. В методике оценка городской транспортной системы формирует представление как о наличии структуры, так и о развитости сети общественного транспорта по району расположения рассматриваемого объекта недвижимости и приоритет в оценке отдается утвержденным линиям маршрутного общественного транспорта с высокой провозной способностью. Представление показателей в виде утилитарно формализованных простейших численных оценок позволяет использовать различный математический аппарат для получения итогового адекватного результата. Предложенная оценочная система пригодна к использованию различными группами потребителей для оценки вторичного и нового жилья в МКД.

Ключевые слова: вторичное жилье, потребительские свойства, качество жизни, критерии оценки, численные параметры.

PARTICULARITIES OF THE QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE CONSUMER PROPERTIES OF REAL ESTATE IN THE SECONDARY HOUSING MARKET

S. Yu. Kalashnikov, Yu. S. Kalashnikova, E. V. Shilova, A. S. Golovanova

Volgograd state technical University, Volgograd, Russia

This article deals with consideration of the systematization and proposed numerical parameters of the architectural and planning indicators that allow objectively evaluate the advantages and disadvantages of apartments for sale in multi-unit apartment buildings. The proposed indicators of the assessment system objectively characterize the level of consumer qualities of an apartment in a single scale. The set of indicators can be quite easily changed by adding necessary or excluding little actual consumer qualities. In the methodology, the assessment of the urban transport system forms an idea of both the presence of the structure and the development of the public transport network in the area of the location of the property in question, and priority in the assessment is given to the approved routes of public transport with high carrying capacity. Representation of indicators in the form of utilitarian formalized simplest numerical