

Формирование эквивалентных нагрузок, действующих на привод и силовые элементы при эксплуатации пассажирских лифтов

Г.Ш. Хазанович, Д.С. Апрышкин, А.Г. Исаев, И.В. Чередниченко, Ю.В. Марченко, В.П. Колганов

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

Аннотация: В работе рассмотрены вопросы установления взаимосвязи нагрузок, которые испытывают привод и силовое оборудование пассажирского лифта, с рядом случайных величин, определяющих в каждом цикле режим работы лифтового оборудования. Обоснована структура алгоритма формирования накопленных нагрузок и их эквивалентное значение в течение заданного периода эксплуатации. Предложенная методика может быть использована в качестве имитационной модели при определении необходимого объема ремонтных воздействий в рамках технического обслуживания пассажирских лифтов.

Ключевые слова: пассажирский лифт, техническое обслуживание, цикл нагружения, случайные параметры цикла, формирование режима нагружения, эквивалентная нагрузка.

Пассажирский лифт является одним из самых распространенных средств передвижения, которым пользуются ежедневно. И как любое транспортное средство, он подвергается регулярному сервисному обслуживанию и ремонту. Частота и содержание этих процедур устанавливается заводами изготовителями и регулирующим органом, каковым в Российской Федерации является «Ростехнадзор». В соответствии с инструкциями и регламентирующей документацией [1] периодичность обслуживания лифтового оборудования имеет зависимость только от временного фактора, т.е. проводится через определенный промежуток времени. Однако в процессе эксплуатации лифтовое оборудование испытывает нагрузки, которые изменяются случайным образом. Это

обусловлено тем, что привод и силовое оборудование лифта, в процессе использования, прибывает в различных условиях эксплуатации и соответственно работает в различных режимах. То есть одна и та же модель лифта может на протяжении одинакового промежутка времени подвергаться различным нагрузкам. Таким образом, отказное состояние силовых и других элементов лифта может наступить раньше, чем будет произведено очередное мероприятие по обслуживанию лифта, что может привести к выходу из строя оборудования и причинению вреда здоровью пассажиров [2-4]. Для исключения или снижения вероятности возникновения подобных ситуаций необходимо проводить мероприятия по обслуживанию и ремонту лифтового оборудования в зависимости от величины тех накопленных нагрузок, которые оно испытывает в реальном масштабе времени, и установить зависимость периодичности технического обслуживания и общего срока эксплуатации от этих нагрузок [5-7]. Для решения этой проблемы необходимо: во-первых, разработать обоснованную методику расчета эквивалентных нагрузок привода и силовых элементов лифта в функции времени эксплуатации; во-вторых, установить взаимосвязь режима технического обслуживания и параметров эквивалентной нагрузки. Целью настоящей статьи является обоснование подходов к решению первой задачи.

Лифт работает круглосуточно, но время пребывания его в состоянии покоя, когда он не осуществляет перемещение пассажиров, также занимает немалую долю от продолжительности его эксплуатации между техническими обслуживаниями. Периодичность возникновения нагрузок на лифт напрямую зависит от интенсивности поступления заявок на использование лифта [8,9]. Исходя из этого, можно представить нагрузку J в период выполнения цикла работы лифта на определенном временном интервале $T_{ц}$ (рис. 1).

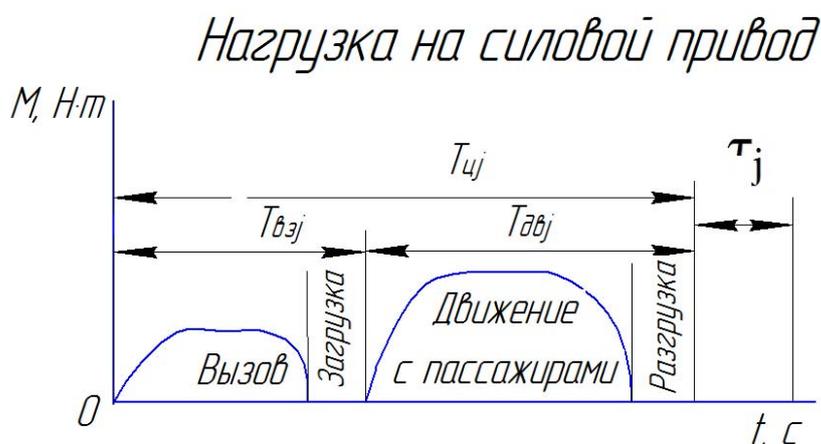


Рис.1.- Цикл работы лифта: $T_{цj}$ - время цикла; $T_{взj}$ - время вызова; $T_{двj}$ - время движения с пассажирами; τ_j – время, через которое поступает заявка на использование лифта после окончания цикла

В процессе выполнения заявки, поступающей от пассажира, лифт на первом этапе цикла совершает перемещение пустой кабины с этажа, на котором она находилась, на этаж, с которого поступила заявка. Этот этап цикла назовем «вызов» или «холостой ход». Затем происходит пауза в перемещении для осуществления загрузки кабины. Следующим этапом кабина с пассажирами перемещается на конечный этаж заявки, т.е. осуществляет «движение под нагрузкой», и снова происходит пауза для выгрузки. Затем наступает очередная пауза до поступления следующей заявки. За один и тот же временной интервал между техническими обслуживаниями лифт может совершать различное количество циклов работы, которые в свою очередь будут иметь различные характеристики по длительности $T_{цj}$ и по величине нагрузок M , воспринимаемых элементами лифта [10].

Представим схему лифта в многоэтажном доме с числом этажей N (рис. 2).

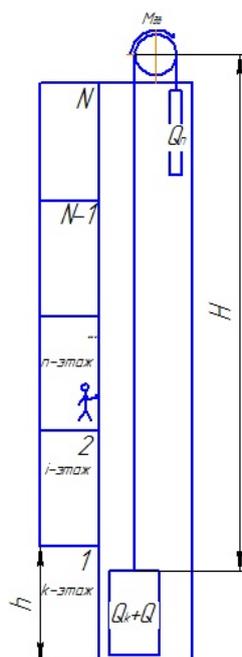


Рис.2.- Схема лифта в многоэтажном доме: Q_k, Q_p, Q – соответственно нагрузки от веса кабины, противовеса и пассажиров

На длительность выполнения заявки и величину нагрузки на привод и силовое оборудование лифта будут оказывать влияние следующие случайные величины:

- 1) номер этажа, с которого подается заявка на использование лифта ($k=1,2 \dots N$, где N – этажность дома);
- 2) номер этажа, на котором находится кабина в момент поступления заявки ($n=1,2,\dots N$);
- 3) номер этажа, на который перемещается лифт с пассажирами ($i=1,2,\dots,N$);
- 4) относительный уровень загрузки лифта по грузоподъемности во время выполнения заявки – отношение фактической нагрузки от массы пассажиров $Q_{п.факт}$ к номинальной (паспортной) грузоподъемности $Q_{пасп}$ лифта ($\gamma=Q_{п.факт}/Q_{пасп}$, $\gamma_{мин} < \gamma < \gamma_{макс}$);

5) интервал времени τ , через который поступает очередная заявка на использование лифта ($\tau_{\min} < \tau < \tau_{\max}$).

Для того чтобы представить все многообразие вариантов режима работы лифта при изменении вышеуказанных случайных величин были составлены матрицы случайных режимов работы лифта в случайном цикле (таблицы 1,2). Представим N -этажный дом, в котором осуществляется заявка на вызов лифта с этажа k , а кабина лифта в этот момент находится на этаже n , расстояние между двумя соседними этажами $h_{эм}$, тогда кабина осуществит перемещение на величину $H_{n-k} = (n-k) \cdot h_{эм}$. Знак «-» перед полученным значением H_{n-k} говорит о том, что кабина осуществит перемещение вниз, а при знаке «+» соответственно вверх.

Таблица №1

Матрицы случайных режимов работы лифта при вызове лифта

	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$...	$N-2$	$N-1$	N
$n=1$	$H_{n-k}=0$	$H_{1-2} \downarrow$	$H_{1-3} \downarrow$	$H_{1-4} \downarrow$	$H_{1-\dots} \downarrow$	$H_{1-(N-2)} \downarrow$	$H_{1-N-1} \downarrow$	$H_{1-N} \downarrow$
$n=2$	$H_{2-1} \uparrow$	$H_{n-k}=0$	$H_{2-3} \downarrow$	$H_{2-4} \downarrow$	$H_{2-\dots} \downarrow$	$H_{2-(N-2)} \downarrow$	$H_{2-(N-1)} \downarrow$	$H_{2-N} \downarrow$
$n=3$	$H_{3-1} \uparrow$	$H_{3-2} \uparrow$	$H_{n-k}=0$	$H_{3-4} \downarrow$	$H_{3-\dots} \downarrow$	$H_{3-(N-2)} \downarrow$	$H_{3-(N-1)} \downarrow$	$H_{3-N} \downarrow$
...	$H_{\dots-1} \uparrow$	$H_{\dots-2} \uparrow$	$H_{\dots-3} \uparrow$	$H_{\dots-4} \uparrow$	$H_{n-k}=0$	$H_{\dots-N-2} \downarrow$	$H_{\dots-N-1} \downarrow$	$H_{\dots-N} \downarrow$
$N-2$	$H_{(N-2)-1} \uparrow$	$H_{(N-2)-2} \uparrow$	$H_{(N-2)-3} \uparrow$	$H_{(N-2)-4} \uparrow$	$H_{(N-2)-\dots} \uparrow$	$H_{n-k}=0$	$H_{(N-2)-(N-1)} \downarrow$	$H_{(N-2)-N} \downarrow$
$N-1$	$H_{(N-1)-1} \uparrow$	$H_{(N-1)-2} \uparrow$	$H_{(N-1)-3} \uparrow$	$H_{(N-1)-4} \uparrow$	$H_{(N-1)-\dots} \uparrow$	$H_{(N-1)-(N-2)} \uparrow$	$H_{n-k}=0$	$H_{(N-1)-N} \downarrow$
N	$H_{N-1} \uparrow$	$H_{N-2} \uparrow$	$H_{N-3} \uparrow$	$H_{N-4} \uparrow$	$H_{N-\dots} \uparrow$	$H_{N-(N-2)} \uparrow$	$H_{N-(N-1)} \uparrow$	$H_{n-k}=0$

Таблица №2

Матрицы случайных режимов работы лифта при движении под нагрузкой лифта на i -ый этаж

	$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=4$...	$N-2$	$N-1$	N
$n=1$	$H_{n-i}=0$	$H_{1-2} \uparrow$	$H_{1-3} \uparrow$	$H_{1-4} \uparrow$	$H_{1-\dots} \uparrow$	$H_{1-(N-2)} \uparrow$	$H_{1-N-1} \uparrow$	$H_{1-N} \uparrow$
$n=2$	$H_{2-1} \downarrow$	$H_{n-i}=0$	$H_{2-3} \uparrow$	$H_{2-4} \uparrow$	$H_{2-\dots} \uparrow$	$H_{2-(N-2)} \uparrow$	$H_{2-(N-1)} \uparrow$	$H_{2-N} \uparrow$
$n=3$	$H_{3-1} \downarrow$	$H_{3-2} \downarrow$	$H_{n-i}=0$	$H_{3-4} \uparrow$	$H_{3-\dots} \uparrow$	$H_{3-(N-2)} \uparrow$	$H_{3-(N-1)} \uparrow$	$H_{3-N} \uparrow$
...	$H_{\dots-1} \downarrow$	$H_{\dots-2} \downarrow$	$H_{\dots-3} \downarrow$	$H_{\dots-4} \downarrow$	$H_{n-i}=0$	$H_{\dots-N-2} \uparrow$	$H_{\dots-N-1} \uparrow$	$H_{\dots-N} \uparrow$
$N-2$	$H_{(N-2)-1} \downarrow$	$H_{(N-2)-2} \downarrow$	$H_{(N-2)-3} \downarrow$	$H_{(N-2)-4} \downarrow$	$H_{(N-2)-\dots} \downarrow$	$H_{n-i}=0$	$H_{(N-2)-(N-1)} \uparrow$	$H_{(N-2)-N} \uparrow$
$N-1$	$H_{(N-1)-1} \downarrow$	$H_{(N-1)-2} \downarrow$	$H_{(N-1)-3} \downarrow$	$H_{(N-1)-4} \downarrow$	$H_{(N-1)-\dots} \downarrow$	$H_{(N-1)-(N-2)} \downarrow$	$H_{n-i}=0$	$H_{(N-1)-N} \uparrow$
N	$H_{N-1} \downarrow$	$H_{N-2} \downarrow$	$H_{N-3} \downarrow$	$H_{N-4} \downarrow$	$H_{N-\dots} \downarrow$	$H_{N-(N-2)} \downarrow$	$H_{N-(N-1)} \downarrow$	$H_{n-i}=0$

Из матриц видно, что вариантов режимов перемещения лифта большое количество, которое напрямую зависит от этажности дома.

Для того чтобы понять зависимость нагрузок на лифт с этими случайными величинами, разберемся, какие нагрузки испытывают силовые части лифтового оборудования.

Тяговые канаты и канаты противовеса подвергаются действиям статической нагрузки, которая определяется по формулам:

$$S_{k1} = \frac{(Q+Q_k) \cdot g + F_k + F_\Gamma}{U_\Pi \cdot \eta_\delta^2} + Q_{TK} \cdot g \quad (1)$$

$$S_{\Pi 1} = [Q_\Pi \cdot g + F_\Pi] \cdot \frac{\eta_\delta}{U_\Pi} \quad (2)$$

где:

Q – масса груза, кг;

Q_k – масса кабины, кг;

Q_Π – масса противовеса, кг;

Q_{TK} – масса тяговых канатов от точки схода с КВШ до подвески, кг;

F_k – сила сопротивления движению кабины, Н;

F_Γ – сила сопротивления движению груза, Н;

F_Π – сила сопротивления движению противовеса, Н;

η_δ – КПД блока канатной системы;

U_Π – кратность полиспаста

В свою очередь масса тяговых канатов равна:

$$Q_{TK} = n \cdot q_{TK}^n \cdot H \quad (3)$$

где q_{TK}^n – значение массы 1 метра тягового каната, кг/м;

H – расчетная высота подъема кабины, м.

Как видно из формул (1, 2 и 3), натяжения тяговых канатов и канатов противовеса напрямую зависят от расстояния перемещения кабины, т.е. номеров этажей k, n, i , а также и массы перевозимых пассажиров.

Помимо статических нагрузок на канаты лифта, его приводные элементы испытывают и динамические нагружения. Представим схему привода лифта (рис. 3).

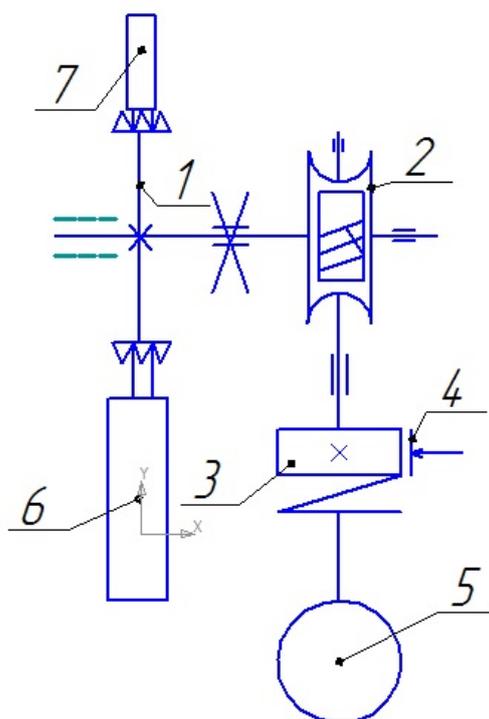


Рис. 3.- Расчетная кинематическая схема лифта с одной степенью свободы: 1 – КВШ; 2 – редуктор червячный; 3 – соединительная муфта с тормозным шкивом; 4 – колодочный тормоз; 5 – электродвигатель; 6 – кабина; 7 – Противовес

Как видно из схемы, нагрузка от кабины и противовеса прикладывается не напрямую на электродвигатель, а передается через ряд промежуточных элементов. Таким образом:

$$J_{\text{пр}} \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_{\text{дв}} - \sum M_c(4)$$

где:

$J_{пр}$ – приведенный к валу двигателя момент инерции системы: «двигатель – редуктор – ведущий шкив–канаты– кабина– противовес», кг·м²;

$M_{об}(\omega)$ – крутящий момент, развиваемый двигателем в функции угловой скорости, Н·м; это соотношение определяется механической характеристикой двигателя;

ΣM_c – сумма приведенных к валу двигателя моментов сопротивлений от перемещения кабины и противовеса ($\Sigma_1^2 S_i \cdot R \cdot i_{ред}$) и потерь в передачах, Н·м;

R – радиус шкива, мм;

$i_{ред}$ – передаточное число редуктора;

ω – угловая скорость двигателя, 1/с.

Как мы видим из формулы (4), и приведенный к валу двигателя момент инерции имеет зависимость от набора, представленных ранее, случайных величин.

Но нас интересует влияние всех нагрузок в целом на периодичность технического обслуживания лифта, и для этого нам необходимо определить эквивалентную нагрузку на лифт, которая и будет величиной, оказывающей влияние на периодичность обслуживания. Под эквивалентной нагрузкой на лифт понимается равномерно распределенная нагрузка на лифт в целом, которая равна суммарной нагрузке на отдельные элементы лифтового оборудования.

Далее представим математическую модель для расчета эквивалентных нагрузок.

$$M_{эКВ} = \frac{K(v_{RT})}{C} \cdot \sum_{i=1}^R \left(\sqrt{\frac{\int_0^{t_{Bi}} M_{Bi}^2(t) dt + \int_0^{t_{ПД,i}} M_{ПД,i}^2(t) dt}{T_{ПД,i}}} \right) \quad (5)$$

где $M_{Bi}^2(t)dt$ – момент на валу двигателя (или в другом звене трансмиссии лифта) в функции времени t в период вызова лифта;

$M_{ЦД,i}^2(t)dt$ – момент на валу двигателя (или в другом звене трансмиссии лифта) в функции времени t в период поездки лифта;

v_{RT} – частота циклов включения лифта за период T , т.е. число циклов в единицу времени, 1/ч или 1/сутки;

$$V_{RT} = \frac{C}{T} = \frac{C}{\sum_{i=1}^C T_{ц,j}} \quad (6)$$

$K(v_{RT})$ – корректирующий коэффициент, учитывающий частоту включения лифта; при частотах, близких к нормативным, при увеличении частоты включений эквивалентная нагрузка возрастает.

C – общее количество циклов за заданный отрезок времени;

$T_{ц,j}$ – продолжительность полного произвольного j -го цикла работы лифтовой установки, включая продолжительность движения при вызове, движения с пассажирами, торможения, пауз на загрузку и выгрузку пассажиров, с;

Полученные матрицы режимов работы лифта, а также зависимости натяжений канатов и приведенного момента к валу двигателя от набора случайных величин позволили сформировать цель дальнейшего теоретического исследования данной тематики, заключающуюся в составлении алгоритма стохастического моделирования нагрузок лифта в отдельном цикле.

Литература

1. Anatoly Korotky, Vladimir Ivanov, Marchenko Edward, Sergey Popov, Julianna Marchenko, Nikolai Dontsov / Model of forming vibration mechanochemical solid lubrication coating on surface of steel rope // XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 403 (2019) doi:10.1088/1755-1315/403/1/012116
2. Скудина А.А., Попов С.И., Марченко Э.В. Марченко Ю.В., Исаев А.Г. Применение логистических подходов к использованию канатных дорог на примере горного курорта «РОЗА ХУТОР»// Инженерный вестник Дона, 2019, №2 URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5746
3. Иванов В.В., Загутин Д.С., Попов С.И., Скудина А.А. Повышение эксплуатационных характеристик и эксплуатационных свойств покрытий, сформированных в условиях вибрационного механохимического воздействия // Инженерный вестник Дона, 2019, № 1 URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5580
4. Tepliakova S.V., Kosenko E.E., Kosenko V.V., Cherpakov A.V./ Mathematical modeling of ensuring machine reliability// Physics and Mechanics of New Materials and their Applications (PHENMA 2016) Abstracts & Schedule. 2016. С. 267-268.
5. Косенко Е.Е., Косенко В.В., Черпаков А.В., Мещеряков В.М., Егорочкин А.О./ Моделирование напряженного состояния элемента рамной конструкции автомобиля в КЭ комплексе Ansys// Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. 2014. № 4. С. 79-84.

6. Версилов С.О., Новиков С.И., Павленко А.Н., Власова Е.С./ Применение экспертного метода для оценки остаточного ресурса горношахтного оборудования// Безопасность жизнедеятельности : образование, экология, охрана труда, пожарная и промышленная безопасность, безопасность в ЧС Материалы XI Международных научных чтений МАНЭБ и Международной научно-методической конференции по безопасности жизнедеятельности, посвященной 100-летию Южно-Российского государственного технического университета. Новочеркасск, 2007. С. 157-160.

7. Павленко А.Н./ Математическая модель тупикового упора комбинированного типа// Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2006. № 10. С. 42-43.

8. Гальченко Г.А., Алейникова А.В./ Информационные технологии в организации перевозочных услуг// Технологии транспортных процессов на Дону, 2016. С. 124-127.

9. Беленький Д.М., Бескопыльный А.Н., Вернези Н.Л./ Опыт диагностики металлических конструкций// Известия высших учебных заведений. Строительство. 2003. № 1 (529). С. 99-102.

10. Месхи Б.Ч., Бондаренко В.А., Чукарин А.Н./ Моделирование процесса шумообразования мостовыми кранами в производственном помещении// Безопасность техногенных и природных систем. 2017. № 2. С. 34-43.

References

1. Anatoly Korotky, Vladimir Ivanov, Marchenko Edward, Sergey Popov, Julianna Marchenko, Nikolai Dontsov. Model of forming vibration mechanochemical solid lubrication coating on surface of steel rope. XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry. IOP

Conf. Series: Earth and Environmental Science 403 (2019) doi:10.1088/1755-1315/403/1/012116

2. Skudina A.A., Popov S.I., Marchenko E.V. Marchenko YU.V., Isaev A.G. Inzhenernyj vestnik Dona (RUS), 2019, №2 URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5746

3. Ivanov V.V., Zagutin D.S., Popov S.I., Skudina A.A. Inzhenernyj vestnik Dona (RUS), 2019, № 1 URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5580

4. Tepliakova S.V., Kosenko E.E., Kosenko V.V., Cherpakov A.V./ Mathematical modeling of ensuring machine reliability// Physics and Mechanics of New Materials and their Applications (PHENMA 2016) Abstracts & Schedule. 2016. C. 267-268.

5. Kosenko E.E., Kosenko V.V., Cherpakov A.V., Meshcheryakov V.M., Egorochkin A.O. Vestnik Doneckoj akademii avtomobil'nogo transporta. 2014. № 4. S. 79-84.

6. Versilov S.O., Novikov S.I., Pavlenko A.N., Vlasova E.S. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti: obrazovanie, ekologiya, ohrana truda, pozharnaya i promyshlennaya bezopasnost', bezopasnost' v CHS Materialy XI Mezhdunarodnyh nauchnyh chtenij MANEB i Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii po bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti, posvyashchennoj 100-letiyu YUzhno-Rossijskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Novocherkassk, 2007. S. 157-160.

7. Pavlenko A.N. Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya. 2006. № 10. S. 42-43.

8. Gal'chenko G.A., Alejnikova A.V. Tekhnologii transportnyh processov na Donu, 2016. S. 124-127.

9. Belen'kij D.M., Beskopyl'nyj A.N., Vernezi N.L. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2003. № 1 (529). S. 99-102.



10. Meskhi B.CH., Bondarenko V.A., CHukarin A.N. Bezopasnost' tekhnogennyh i prirodnyh sistem. 2017. № 2. S. 34-43.