

УДК (UDC) 621.86

ВЫБОР И РАСЧЕТ ТЯГОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА ЛИФТА

SELECTION AND CALCULATION OF TRACTION ELEMENTS OF THE ELEVATOR LIFTING MECHANISM

Витчук П.В.¹, Рейхерт Н.Д.¹, Витчук Н.А.²
Vitchuk P.V.¹, Reykhert N.D.¹, Vitchuk N.A.²¹ – Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана
Национальный исследовательский университет, Калужский филиал (Калуга, Россия)² – Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского (Калуга, Россия)¹ – Moscow state technical university named after N.E. Bauman (National research university),
Kaluga branch (Kaluga, Russian Federation)

2 – Kaluga state university named after K.E. Tsiolkovsky (Kaluga, Russian Federation)

Аннотация. Правильный выбор элементов механизма подъема лифта и их параметров обеспечивает его безотказность, долговечность, энергетическую и экономическую эффективность. В работе изложены рекомендации по выбору тяговых элементов механизма подъема лифта и последовательность определения их параметров на основе многовариантного расчета. Целью предлагаемой последовательности ставится получение наиболее рациональных параметров тяговых элементов механизма подъема лифта. Исходными данными к расчету являются грузоподъемность лифта, номинальная скорость движения, высота подъема кабины. Также необходимо учитывать назначение лифта. На первом этапе расчета определяют массы кабины и противовеса. При этом следует использовать имеющиеся данные о лифтах-аналогах. При отсутствии таких данных могут быть использованы приближенные зависимости, предложенные авторами статьи. На втором этапе выбирают кинематическую схему лифта. На третьем этапе производят выбор типа тягового элемента. На основе отечественного и зарубежного опыта лифтостроения, а также известной литературы сформулированы рекомендации по выбору типа тягового элемента. Завершающий этап – многовариантный расчет тяговых элементов. Предложено проводить оценку результатов расчета с учетом минимальной величины коэффициента запаса в соответствии со стандартом EN 81-1:1998. Рассмотренный в работе расчет тяговых элементов является лишь небольшой частью процесса определения оптимальных параметров элементов механизма подъема лифта. При этом уже на данном этапе вводится вариативность, которая делает расчет достаточно трудозатратным для выполнения его вручную. Очевидно, что многовариантная методика расчета, позволяющая проанализировать множество различных сочетаний параметров элементов механизма подъема лифта и выбрать оптимальные из них, невозможна без использования ЭВМ.

Abstract. The correct choice of elements of the elevator lifting mechanism and their parameters ensures its reliability, durability, energy and economic efficiency. The paper contains recommendations for the selection of the traction elements of the elevator lifting mechanism and the sequence of determining their parameters based on a multivariate calculation. The purpose of the proposed sequence is to obtain the most rational parameters of the traction elements of the elevator lifting mechanism. The initial data for the calculation are the lifting capacity of the elevator, the nominal speed of movement, the height of the lift of the car. It is also necessary to consider the purpose of the elevator. At the first stage of the calculation, the masses of the cab and the counterweight are determined. In this case, the existing data on analogue lifts should be used. In the absence of such data, the approximate dependences proposed by the authors of the article can be used. At the second stage, the kinematic scheme of the elevator is selected. At the third stage, the type of traction element is selected. On the basis of domestic and foreign experience in elevator engineering and well-known literature, recommendations are formulated for choosing the type of traction element. The final stage is a multivariate calculation of traction elements. It is proposed to evaluate the calculation results taking into account the minimum value of the safety factor in accordance with the EN 81-1: 1998 standard. The calculation of the traction elements considered in the work is only a small part of the process of determining the optimal parameters of the elements of the elevator lifting mechanism. At the same time, already at this stage, variability is introduced, which makes the calculation quite laborious to perform it manually. Obviously, a multivariate calculation method that allows you to analyze many different combinations of parameters of the elements of the elevator lifting mechanism and choose the optimal ones is impossible without the use of a computer.

Ключевые слова: лифт, механизм подъема, привод лифта, стальной канат, тяговый орган.

Дата принятия к публикации: 01.07.2021
Дата публикации: 25.09.2021

Сведения об авторах:

Витчук Павел Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные системы», Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,
e-mail: vitchuk@bmstu.ru
ORCID: 0000-0002-7916-5056

Рейхерт Надежда Дмитриевна – студент кафедры «Подъемно-транспортные системы», Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,
e-mail: reykhert.nadia@ya.ru.

Витчук Наталья Андреевна – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерных и технологических дисциплин, Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,
e-mail: vitchuk.natalya@mail.ru
ORCID: 0000-0003-4250-8956

Keywords: lift, lifting mechanism, elevator drive, steel rope, traction element

Date of acceptance for publication: 01.07.2021
Date of publication: 25.09.2021

Authors' information:

Pavel V. Vitchuk – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department «Lifting and transport systems» at Bauman Moscow State Technical University» (Kaluga Branch),
e-mail: vitchuk@bmstu.ru.
ORCID: 0000-0002-7916-5056

Nadezhda D. Reykhert – student of Department «Lifting and transport systems» at Bauman Moscow State Technical University» (Kaluga Branch),
e-mail: reykhert.nadia@ya.ru.

Natalya A. Vitchuk – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department “Engineering and technological disciplines” at Kaluga State University named after K.E. Tsiolkovsky,
e-mail: vitchuk.natalya@mail.ru
ORCID: 0000-0003-4250-8956

1. Введение

В настоящее время отечественная и зарубежная промышленность изготавливает большое количество разнообразных по конструктивному исполнению лифтов. Механизмы подъема этих лифтов выполнены по различным схемам, отличающимся между собой кратностью подвески, типом, числом и габаритами тяговых элементов, типом и параметрами тяговых органов. При этом методики расчета, приводимые в известных источниках [1–3], сводятся к непосредственному расчету параметров элементов механизма подъема по коэффициентам запаса. Это не позволяет оперативно анализировать взаимосвязи количественных показателей параметров элементов механизма подъема лифта с учетом взаимовлияющих факторов. В [4] предложен многовариантный подход к определению параметров канатно-блочной системы лифта, позволяющий варьировать типом, диаметром, количеством тяговых канатов, диаметром канатоведущего шкива и параметрами его ручьев. К недостаткам данно-

го подхода следует отнести то, что он применим только к лифтам с канатоведущим шкивом и стальными канатами, а также не позволяет варьировать кратностью подвески.

2. Постановка задачи

Актуальной является задача разработки последовательности расчета тяговых элементов механизма подъема лифта на основе многовариантного расчета с целью получения их наиболее рациональных параметров. Это позволит обеспечить безотказность, долговечность, энергетическую и экономическую эффективность механизма подъема лифта.

3. Последовательность определения параметров тяговых элементов

Рассмотрим основные этапы предлагаемой последовательности и их содержание.

1. Исходные данные.

На начальной стадии проектирования здания определяют параметры лифтовой

системы с целью обеспечения нормального уровня обслуживания пассажиров. При определении параметров лифтовой системы в настоящее время применяют два метода оценки характеристик пассажиропотока здания:

- метод калькуляции;
- метод моделирования.

Для реализации первого метода используют расчетные зависимости, соответствующие методическим основам расчета пассажирского вертикального транспорта, изложенным в ГОСТ Р 52941-2008 (ISO 4190-6:1984) и Приложении 2 к СНиП 2.08.02. Для реализации второго метода используют специальные программы для ЭВМ (например, разработанная фирмой Schindler (Шиндлер, Швейцария) [5]), переносящие весь предполагаемый пассажиропоток в виртуальный. При использовании каждого из методов в результате расчета получают требуемое количество лифтов, их грузоподъемность, скорость движения и высоту подъема.

Таким образом, исходными данными к расчету механизма подъема являются: грузоподъемность лифта Q , номинальная скорость движения V_H , высота подъема кабины H . Также необходимо учитывать назначение лифта.

2. Определение массы кабины и противовеса.

Формулы для точного определения массы кабины в известной литературе отсутствуют. Поэтому при определении массы кабины следует использовать имеющиеся данные о лифтах-аналогах проектируемому. При отсутствии таких данных для лифтов со шкивом трения могут быть использованы приближенные зависимости, кг:

– больничной категории А:

$$Q_K \approx (644 \dots 743) A_K \cdot B_K; \quad (1)$$

– больничной категории В:

$$Q_K \approx (228 \dots 263) A_K \cdot B_K; \quad (2)$$

– пассажирской категории А:

$$Q_K \approx (585 \dots 675) A_K \cdot B_K; \quad (3)$$

– пассажирской категории В:

$$Q_K \approx (370 \dots 428) A_K \cdot B_K; \quad (4)$$

– грузовой категории А:

$$Q_K \approx (709 \dots 818) A_K \cdot B_K; \quad (5)$$

– грузовой категории В:

$$Q_K \approx (520 \dots 600) A_K \cdot B_K, \quad (6)$$

где A_K и B_K – глубина и ширина кабины соответственно.

Вывод формул (1)-(6) изложен в [6] и здесь не рассматривается.

В лифтах с барабаном или тяговой звездочкой (допустимо использовать при номинальной скорости движения кабины до 0,63 м/с) не требуется избыточная масса кабины для обеспечения необходимых тяговых характеристик привода, поэтому можно принять $Q_K \approx (0,8 \dots 1) Q$.

3. Выбор кинематической схемы лифта.

Кинематическая схема лифта – принципиальная схема взаимодействия подъемного механизма с подвижными частями лифта (кабиной и противовесом). Для обеспечения заданных техническим заданием параметров лифтов заводами-изготовителями используются самые разнообразные кинематические схемы, отличающиеся между собой кратностью полиспафта, расположением машинного помещения и т.д. Подробно эти схемы описаны в литературных источниках [1–3] и здесь не рассматриваются.

При выборе кинематической схемы нужно решить две основные задачи:

- подобрать ее компоновку;
- подобрать кратность полиспафтной подвески a .

Решение первой задачи определяется конструктивными особенностями здания и расположением лифта внутри него. Решение второй задачи подразумевает вариативность значений кратности полиспафтной подвески, которую можно использовать для поиска наилучшей компоновочной схемы механизма подъема лифта. Поэтому при многовариантном расчете целесообразно одновременно рассмотреть несколько кратностей полиспафта из диапазона $a = 1 \dots 4$.

При выборе кратности полиспафта можно руководствоваться рекомендациями, приведенными в табл. 1, полученными на основе обобщения параметров лифтов, изготавливаемых ведущими мировыми производителями [7–10].

Таблица 1

Рекомендации по выбору кратности полиспаста

Назначение лифта	Высота подъема, м/ количество остановок	Скорость, м/с	Грузоподъемность, кг	Тяговый элемент, кратность полиспаста
Otis (Отис, США) [7]				
Пассажирский, больничной	50/17	1,0	450 (6 чел.); 630 (8 чел.); 1000 (13 чел.)	Лента, $a=2$
	90/30	1,6		
	45/14	1,0		
Пассажирский	150/32	2,5	1600 (21 чел.)	
Пассажирский	45/14	1,0	320 (4 чел.); 450 (6 чел.); 480 (6 чел.); 630 (8 чел.); 900 (12 чел.); 1000 (13 чел.)	
Kone (Коне, Финляндия) [8]				
Пассажирский	75/24	1,75	1150 (до 15 чел.)	Канат, $a=2$
Пассажирский	120/48	2,5	1600 (до 21 чел.)	
Пассажирский	100/36	3,0	2500 (до 33 чел.)	
Пассажирский для коммерческих зданий и зданий средней и большой этажности	210/63	4,0	2000 (до 26 чел.)	
Грузовой	40/12	1,6	5000 (до 53 чел.)	Канат, $a=4$
Грузопассажирский, больничной	40/12	1,0	2500 (до 33 чел.)	
ThyssenKrupp (ТиссенКрупп, Германия) [9]				
Грузопассажирский (для всех типов зданий), больничной	60/23 80/30	1,0	400 (5 чел.)	Лента, $a=2$
		1,6	630 (8 чел.); 1000 (13 чел.)	
	80/21	1,0	450...1600 (до 21 чел.)	
		1,6		
100/40	1,0	450-2500 (до 33 чел.)		
	1,6			
	2,0 2,5			
Грузопассажирский (для всех типов зданий), больничной	100/40	1,0	450-4000 (до 53 чел.)	Канат, $a=2$ $a=3$ $a=4$
		1,6		
		2,0		
		2,5		

Продолжение табл. 1

Назначение лифта	Высота подъема, м/ количество остановок	Скорость, м/с	Грузоподъемность, кг	Тяговый элемент, кратность полиспаста
Пассажирский (для всех типов зданий), больничные	60/16 80/20	1,0 1,6	450 (6 чел.)	Канат, $a=1$ $a=2$
	60/16 80/20 100/30 135/40	1,0 1,6 2,0 2,5	630 (8 чел.); 800 (10 чел.); 1000 (13 чел.); 1250 (16 чел.); 1600 (20 чел.)	
	60/16 80/20 100/30	1,0 1,6 2,0	2000 (26 чел.)	
	60/16 80/20	1,0 1,6	2500 (33 чел.)	
	45/12	1,0	450 (5 чел.); 630 (8 чел.); 1000 (13 чел.)	
Грузопассажирский (жилые здания)	60/20	1,0 1,6 1,75	320 (4 чел.); 450 (5 чел.); 630 (8 чел.); 850 (10 чел.); 1000 (13 чел.)	Канат, $a=2$
	30/10	0,6...1,0	1800; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500	
Грузовой	30/10	0,3...0,5	5000; 5500; 6000	Канат, $a=4$
	Schindler (Шиндлер, Швейцария) [10]			
Грузопассажирский	42/21 65/21	1,0 1,6	1000 (13 чел.); 1275 (17 чел.); 1600 (21 чел.); 2000 (26 чел.)	Канат, $a=2$
	42/21	1,0	2500 (33 чел.)	
Больничные	42/21 65/21	1,0 1,6	1275 (17 чел.); 1600 (21 чел.); 2000 (26 чел.)	
	42/21	1,0	2500 (33 чел.)	
Грузовой	42/21 65/21	1,0 1,6	1000; 1275	
	25/21	1,0 1,6	1600; 200	
	25/21	1,0	2500	
	24/21	1,0	3000; 3200; 3500	
	24/21	0,8	4000	

Окончание табл. 1

Назначение лифта	Высота подъема, м/ количество остановок	Скорость, м/с	Грузоподъемность, кг	Тяговый элемент, кратность полиспаста
Пассажирский (для всех типов зданий), больничной	45/15	1,0	630 (8 чел.);	Лента, $a=2$
	80/30	1,6	800 (10 чел.)	
	45/15	1,0	1000 (13 чел.);	
	80/30	1,6	1275 (17 чел.);	
	100/36	2,5	1600 (21 чел.);	
	150/50	3,0	1800 (24 чел.)	
	45/15	1,0	2000 (26 чел.);	
	80/30	1,6	2500 (33 чел.)	
Пассажирский (жилые здания)	45/15	1,0	400 (5 чел.)	
	45/15 60/20	1,0 1,6	535 (7 чел.);	
			625 (8 чел.);	
			675 (9 чел.);	
			800 (10 чел.);	
			900 (11 чел.);	
1000 (13 чел.);				
1125 (15 чел.)				

4. Выбор типа тягового элемента.

В качестве тяговых элементов лифтов используют стальные канаты, полиуретановые ленты, армированные стальными канатами, а также пластинчатые цепи. Наибольшее распространение получили стальные канаты.

Канаты лифтов сообщают движение кабине и противовесу от лебедки с незначительными потерями ($\eta=0,97...0,99$) на канатопроводящем органе и/или отклоняющих блоках. При эксплуатации лифтовых канатов возникают растягивающие, изгибающие, скручивающие и сдвигающие нагрузки, поэтому в канате должна быть обеспечена большая площадь касания между проволоками отдельных слоев навивки. Поэтому в лифтах используют круглопрядные стальные канаты двойной свивки конструкции ЛК-О и ЛК-Р, реже – ЛК-З [1–3].

Формула конструкции канатов двойной свивки имеет вид произведения числа прядей на число проволок в пряди с расшифровкой структуры пряди и обозначением сердечника. В случае применения органического сердечника канат имеет обозначение «о.с.». Если применен металлический сердечник, то его конструкцию также расшифровывают.

В литературе часто приводят зарубежные обозначения наиболее распространенных канатов (прядей): ЛК-О – S (Seale, Сил) имеет конструкцию $1+n+n$; ЛК-Р – W (Warrington, Варрингтон), $1+n+n/n$; ЛК-РО – WS (Warrington-Seal, Варрингтон-Сил), $1+n+n/n+2n$; ЛК-З – Fi (Filler, Филлер), $1+n;n+2n$. Сердечник зарубежных канатов может иметь обозначения: FC (Fiber Core) – органический сердечник; NFC (Natural Fiber Core) – органический сердечник из натуральных материалов; SFS (Synthetic Fiber Core) – сердечник из синтетических материалов и т.д.

В последние два десятилетия ведущие мировые производители лифтов широко используют полиуретановые ленты, армированные стальными канатами, в качестве тяговых элементов [11, 12]. Тяговые характеристики этих лент производителями не раскрыты. Поэтому было проведено экспериментальное определение коэффициента трения f полиуретановой ленты о шкив [13], в результате которого было получено значение $f=0,245...0,265$.

В доступных литературных источниках также имеются сведения о применении в

лифтах других тяговых элементов, отличных по своей конструкции от традиционных круглопрядных стальных канатов, например: фасоннопрядные стальные канаты [2, 14], круглопрядные канаты из арамидных волокон [15], стальные плоские ленты [16] и др. К сожалению, информация, приводимая об этих несомненно перспективных тяговых элементах, носит разрозненный и преимущественно рекламный характер, а их конкретные технические и эксплуатационные характеристики практически отсутствуют. Поэтому в дальнейшем будут рассмотрены только традиционные круглопрядные стальные канаты и полиуретановые ленты.

В отечественной литературе [1, 8] для лифтов рекомендуют использовать 6-прядные канаты по ГОСТ 2688 конструкции 6x19 (1+6+6/6)+о.с. и ГОСТ 3077 конструкции 6x19 (1+9+9)+о.с. Анализируя конструкцию этих канатов с учетом имеющихся результатов исследований ВНИИПТМАШ [17], можно сделать вывод, что канаты по ГОСТ 2688 более гибкие и имеют большое количество проволок меньшего диаметра в наружном слое навивки, поэтому их целесообразно использовать в канатно-блочных системах со значительным числом перегибов каната. В свою очередь, канаты по ГОСТ 3077 более жесткие, но имеют большее разрывное усилие, поэтому их целесообразно использовать в канатно-блочных системах с незначительным числом перегибов каната. Имеющиеся сведения об эксплуатации лифтов в г. Калуга [18] позволяют также рекомендовать к использованию в механизме подъема лифта 8-прядные канаты по ГОСТ 3080 (не действует в настоящее время) конструкции 8x19 (1+9+9)+о.с. или их современные аналоги. Такие канаты были смонтированы на 37 лифтах города 70-х годов выпуска, и за весь срок их эксплуатации отказов тяговых канатов не возникало.

В [2] для лифтов приведены аналогичные сведения, а именно (здесь использовано обозначение стальных канатов по DIN 3051) следует использовать: 6-прядные канаты конструкции 6x19 (9/9/1) (аналог каната по ГОСТ 3077) и 6x19 (12/6+6F/1) (аналог кана-

та по ГОСТ 2688) и 8-прядные канаты конструкции 8x19 (9/9/1) (аналог каната по ГОСТ 3080). При этом даны следующие рекомендации: «Показатель усталостной прочности канатов 6x19 (9/9/1) иногда ниже, чем у 6x19 (12/6+6P/1) или 8x19 и поэтому из-за своей более жесткой конструкции они требуют применения канатопроводящих шкивов и блоков большего диаметра. Кроме того, рекомендуется применять 6x19 канаты (12/6+6F/1) с клиновым профилем ручья канатопроводящего шкива, тогда как все остальные типы канатов рекомендуется применять при использовании канатопроводящих шкивов с полукруглым профилем ручья или полукруглым с подрезом. Канаты конструкции 6x19 (9/9/1) следует использовать преимущественно там, где требуются небольшой диаметр поперечного сечения».

При выборе типа тягового каната можно также использовать рекомендации, данные китайским производителем Hangzhou Metal (Ханчжоу Метал, Китай) [19] (табл. 2).

5. Расчет тяговых элементов.

Предварительный расчет тяговых элементов производят по величине минимальной разрушающей нагрузки, приходящейся на все тяговые элементы с учетом минимального коэффициента запаса прочности:

$$N_{min} = \left(\frac{Q + Q_K}{a} + Q_{TЭ} \right) g k_{min} \cdot 10^{-3},$$

где $Q_{TЭ}$ – масса тяговых элементов (в предварительных расчетах принимается равной нулю); $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; k_{min} – минимальный коэффициент запаса прочности; a – кратность полиспаста.

Минимальный коэффициент запаса прочности назначают согласно действующей нормативной документации. Например, по ГОСТ 53780-2010 (EN 81-1:1998) коэффициент запаса прочности стальных канатов должен быть не менее:

- 12 для лебедки с канатопроводящим шкивом или барабаном трения с тремя и более канатами;
- 16 для лебедки с канатопроводящим шкивом или барабаном трения с двумя канатами;
- 12 для барабанной лебедки.

Таблица 2

Рекомендации по выбору типа тягового каната Hangzhou Metal [19]

Конструкция каната		Область применения
класс и тип сердечника	конструкция	
6х19 органический сердечник	6х19S+SFC 6х19W+SFC 6х25FI+SFC	канаты ограничителя скорости
	6х19S+NFC 6х19W+NFC 6х25Fi+NFC	тяговые канаты для малоэтажных, низкоскоростных лифтов
8х19 органический сердечник	8х19S+NFC 8х19W+NFC 8х25Fi+NFC	тяговые канаты для лифтов со скоростью ≤ 2 м/с, высота здания ≤ 60 м
8х19 стальной сердечник	8х19S+8х7+1х19W 8х19W+8х7+1х19W 8х25Fi+8х7+1х19W	тяговые канаты для лифтов со скоростью < 4 м/с, высота здания ≤ 100 м
8х19 смешанный сердечник	8х19S+8х7+FC 8х19W+8х7+FC 8х25Fi+8х7+FC 8х19S+5х7+FC	тяговые канаты для лифтов со скоростью < 4 м/с, высота здания ≤ 100 м
9х19 стальной сердечник	9х17S+9х7+1х19W 9х19S+9х7+1х19W 9х19W+9х7+1х19W 9х21Fi+9х7+1х19W 9х25Fi+9х7+1х19W	тяговые канаты для лифтов со скоростью ≥ 4 м/с, высота здания > 100 м
9х19 смешанный сердечник	9х17S+9х7+FC 9х19S+9х7+FC 9х19W+9х7+FC 9х21Fi+9х7+FC 9х25Fi+9х7+ FC	
6х36 органический сердечник	6х29Fi+FC 6х36WS+FC	компенсирующие канаты, канаты противовесов

Минимальная разрушающая нагрузка, приходящаяся на один тяговый элемент, составляет:

$$N_{min}^1 = N_{min}/n,$$

где n – число тяговых элементов.

С целью вариации параметров тяговых элементов целесообразно определять минимальную разрушающую нагрузку, приходя-

щую на один тяговый элемент, при их различном количестве, т.е., $n = 3, 4, 5$ и т.д.

По ближайшим большим значениям разрывного усилия $N^1 \geq N_{min}^1$, где N^1 – разрывное усилие выбранного тягового элемента, из каталогов выбирают технические параметры тяговых элементов. Рекомендуемый предел прочности (маркировочная группа) проволоки для лифтового стального каната

составляет 1570 (1568) МПа для проволок одинакового растяжения или сочетание 1370/1779 (1372/1764) МПа для проволок разного растяжения [2].

После этого уточняют фактическое значение коэффициента запаса прочности тяговых элементов k с учетом их массы:

$$k = \frac{N^1 n}{\left(\frac{Q+Q_K+Q_{TЭ}}{a}\right)g \cdot 10^{-3}} \geq k_{min},$$

где $Q_{TЭ} = q_{TЭ} \cdot Ln$ – масса тяговых элементов; $q_{TЭ}$ – погонная масса 1 м тягового элемента; $L = (H+2...4)$ – длина тяговых элементов от точки сбега с тягового органа до точки крепления на кабине.

Анализ имеющейся технической документации на лифты производства Otis и Schindler показал, что фактический коэффициент запаса для лифтов с полиуретановой лентой составляет 25...30. Столь высокое значение, вероятнее всего, может быть объяснено недостаточностью данных о надежности таких тяговых элементов.

Из [2] также известно, что в европейской практике для увеличения долговечности часто используют тяговые элементы на один-два типоразмера больше расчетного. Поэтому целесообразно рассмотреть возможность увеличения полученного типоразмера тягового элемента (например, диаметра тягового каната d_{TK}) на один-два типоразмера. Для этого введем обозначения a, ξ , где индекс $a = 1, 2, 4$ будет обозначать изменение кратности полиспаста, а индекс $\xi = 0, +1, +2$ увеличение диаметра на 1 или 2 типоразмера (при $\xi = 0$ диаметр тягового каната равен расчетному). То есть обозначение 2;+1 будет означать полиспаст кратностью 2 и диаметр тягового каната, увеличенный на 1 типоразмер по сравнению с расчетным.

Таким образом, при расчете тяговых канатов варьируемыми параметрами являются: тип, количество и диаметр тяговых канатов, а также кратность полиспаста. Полученное множество результатов целесообразно представить в виде сводной таблицы, например вида табл. 3.

Таблица 3

Пример сводной таблицы результатов расчета тяговых канатов

Параметры тяговых канатов		$n = 3$			$n = 4$...
Тип	a, ξ	$d_{TK}, \text{мм}$	$N^1, \text{кН}$	k	$d_{TK}, \text{мм}$	$N^1, \text{кН}$	k	...
6x19 (1+6+6/6)+о.с.	1;0							...
	1;+1							...

	4;+2							...
8x19 (1+9+9)+о.с.	1;0							...
	1;+1							...

	4;+2							...
...

Аналогичный подход к расчету может быть применим не только к канатам, но и к их альтернативе – армированным полиуретановым лентам.

Для стальных канатов имеет смысл также выполнить пересчет ранее назначенного минимального коэффициента запаса прочности, используя оценку минимальной величины коэффициента запаса в соответствии со стандартом EN 81-1:1998.

В соответствии с этим стандартом минимальный коэффициент запаса $k_{min;n;a;\xi}$ может быть определен по графику (рис. 1) в зависимости от соотношения диаметра тягового шкива к номинальному диаметру каната:

$$k_{min;n;a;\xi} = 10 \cdot \frac{\log \left[\frac{695,85 \cdot 10^6 \cdot N_{eq}}{\left(\frac{D_{n;a;\xi}}{d_{n;a;\xi}}\right)^{8,567}} \right]}{\log \left[77,09 \cdot \left(\frac{D_{n;a;\xi}}{d_{n;a;\xi}}\right)^{-2,894} \right]}$$

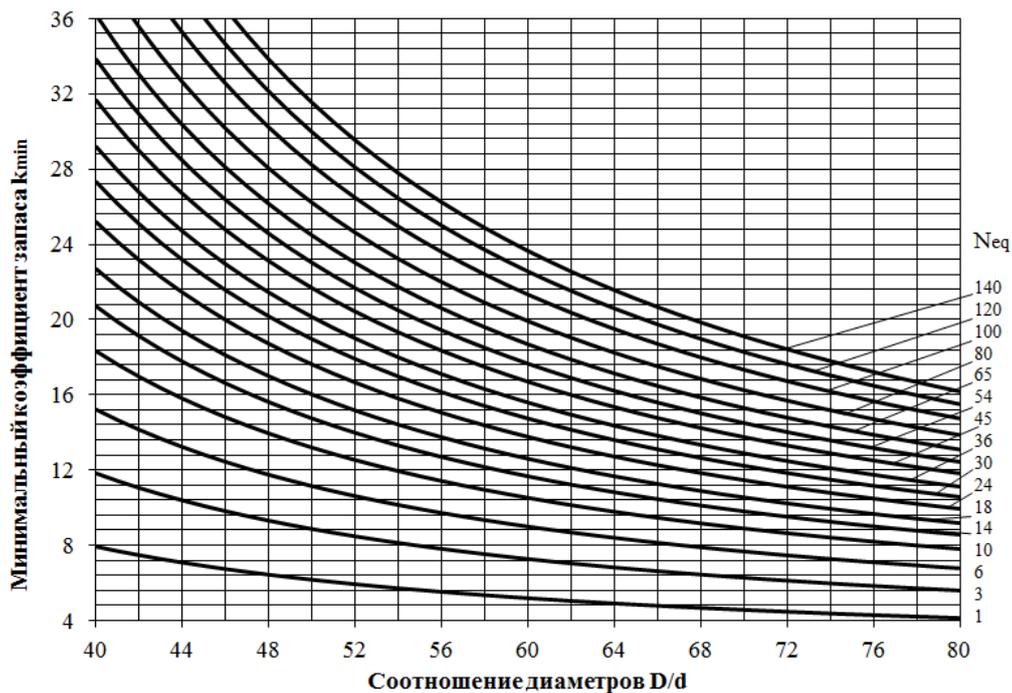


Рис. 1. Оценка минимальной величины коэффициента запаса

где N_{eq} – эквивалентное число блоков; $D_{n;a;\xi}$ – диаметр канатоведущего шкива; $d_{n;a;\xi}$ – номинальный диаметр каната.

Эквивалентное число блоков N_{eq} зависит от числа изгибов и уровня жесткости каждого изгиба и определяется по формуле:

$$N_{eq} = N_{eq1} + N_{eq2}.$$

Эквивалентное число тяговых шкивов N_{eq1} определяется по табл. 4. Эквивалентное число отводных блоков N_{eq2} составляет

$$N_{eq2} = \left(\frac{D_{n;a;\xi}}{D_p} \right)^4 \cdot (N_{2S} + 4N_{2R}),$$

где D_p – средний диаметр всех применяемых блоков; N_{2S} – число блоков с простыми изгибами; N_{2R} – число блоков с обратным изгибом [2].

Таблица 4

Эквивалентное число тяговых шкивов N_{eq1} [2]

V-ручьи (клиновые)	V-угол	-	35°	36°	38°	40°	42°	45°
	N_{eq1}	-	18,5	15,2	10,5	7,1	5,6	4,0
Ручьи с подрезом	Угол подреза	75°	80°	85°	90°	95°	100°	105°
	N_{eq1}	2,5	3,0	3,8	5,0	6,7	10,0	15,2

Получив значения минимального коэффициента запаса прочности тяговых канатов, необходимо провести с ними соответствующее сравнение значений фактического коэффициента запаса из табл. 3. Не удовлетворяющие условию $k \leq k_{\min;n;a;\xi}$ варианты необходимо исключить из дальнейшего рассмотрения.

4. Заключение

Рассмотренный расчет тяговых элементов является лишь небольшой частью процесса определения оптимальных параметров элементов механизма подъема лифта. При этом уже на данном этапе вводится вариативность, которая делает расчет достаточно трудозатратным для выполнения его вруч-

ную. Очевидно, что многовариантная методика расчета, позволяющая проанализировать множество различных сочетаний пара-

метров элементов механизма подъема лифта и выбрать оптимальные из них, невозможна без использования ЭВМ.

Список литературы

1. Лифты. М.: Изд-во АСВ, 1999. 480 с.
2. Яновски Л. Проектирование механического оборудования лифтов. М.: Изд-во АСВ, 2005. 336 с.
3. Лифты. М.: Машгиз, 1958. 567 с.
4. Анцев В.Ю., Сероштан В.И., Витчук П.В. Многовариантный подход к определению параметров канатно-блочной системы лифта // Известия ТулГУ. Технические науки. 2012. №10. С.71-78.
5. Анализ пассажиропотока. Шиндлер. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.schindler.com/content/ua/internet/ru/vertikalnuytransport/equipment/traffic/traffic/_jcr_content/rightPar/downloadlist/downloadList/32_1430212081192.download.asset.32_1430212081192/analiz-pasagiropotoky-schindler.pdf (дата обращения: 25.04.2021).
6. Витчук П.В., Витчук Н.А., Рейхерт Н.Д. Выбор оптимальной массы кабины лифта // Подъемно-транспортное дело. 2018. №3-4. С. 13-15
7. Otis Elevator Company | Elevator products – RU – OTIS. Официальный сайт компании Otis. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.otis.com/ru/ru/products-services/products> (дата обращения 25.03.2021).
8. Лифты KONE. Официальный сайт компании KONE. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kone.ru/new-buildings/elevators/> (дата обращения 25.03.2021).
9. Лифты и лифтовое оборудование ТК Elevator. Официальный сайт компании ThyssenKrupp. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://thyssenkrupp-elevator.ru/products/elevators/> (дата обращения 25.03.2021).
10. Лифты для всех типов помещений | Schindler Россия. Официальный сайт компании Schindler. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.schindler.com/ru/internet/ru/reshenij>

References

1. Lifts. Moscow, Publ ASV, 1999. 480 p. (In Russian)
2. Janovsky L. Mechanical elevator design. Moscow, Publ ASV, 2005. 336 p. (In Russian)
3. Lifts. Moscow, Mashgiz, 1958. 567 p. (In Russian)
4. Antsev V.Yu., Sroshtan V.I., Vitchuk P.V. *Mnogovariantnyy raschet parametrov kanatno-blochnoy sistemy lifta* [The multiply approach to determination elevator's cable-hoist system parameters]. *Izvestiya TulGY. Tekhnicheskkiye nauki*, 2012, No. 10, pp.71-78. (In Russian)
5. *Analiz passazhiropotoka. Shindler*. (Analysis of passenger traffic. Schindler). Available at: https://www.schindler.com/content/ua/internet/ru/vertikalnuytransport/equipment/trafic/traffic/_jcr_content/rightPar/downloadlist/downloadist/32_1430212081192.download.asset.32_1430212081192/analiz-pasagiropotoky-schindler.pdf (In Russian)
6. Vitchuk P.V., Vitchuk N.A., Reykhert N.D. *Vybor optimalnoy massy kabiny lifta* [Choosing the optimal weight of the elevator car]. *Podyemno-transportnoye delo*, 2018, No. 3-4, pp. 13-15. (In Russian)
7. Otis Elevator Company | Elevator products – RU – OTIS, *Otis official website*. Available at: <https://www.otis.com/ru/ru/products-services/products>. (In Russian)
8. KONE elevators, *KONE official website*. Available at: <https://www.kone.ru/new-buildings/elevators/>
9. Elevators and elevator equipment TK Elevator, *ThyssenKrupp official website*. Available at: <https://thyssenkrupp-elevator.ru/products/elevators/> (In Russian)
10. Elevators for all types of premises | Schindler Russia, *Schindler official website*. Available at: <https://www.schindler.com/ru/internet/ru/reshenijapoperedvizheniju/produkty/lifty.html> (In Russian)
11. Otis Gen2 Elevator, *Otis official web-*

- a-po-peredvizheniju/produkty/lifty.html (дата обращения 25.03.2021).
11. Лифт Otis Gen2. Официальный сайт компании Otis. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://otis.com/site/ru/pages/Gen2Elevator.aspx> (дата обращения 25.03.2021).
12. Лифт Schindler 3300. Официальный сайт компании Schindler. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.schindler.com/ru/internet/ru/resheniya-po-peredvizheniju/produkty/lifty/schindler-3300.html> (дата обращения 25.03.2021).
13. Анцев В.Ю., Витчук П.В., Витчук Н.А., Рейхерт Н.Д. Экспериментальное исследование тяговых характеристик полиуретановой ленты // Известия ТулГУ. Технические науки. 2020. № 7. С. 73-79.
14. Малиновский В.А. Стальные канаты. Одесса: Астрапринт, 2001. 190 с.
15. Гейл Д. Поездка в Эбикон: арамидные канаты и Евролифт // Лифт. 2004. №2. С. 12-15.
16. Борохович А.И. Грузоподъемные установки с ленточным тяговым органом. М.: Машиностроение, 1980. 191с.
17. Исследование гамма-процентных ресурсов элементов крановых механизмов: Отчет / ВНИИПТМАШ. Рук. работы Спицина И.О. Инв. №626288. М., 1977. 110 с.
18. Витчук П.В., Сероштан В.И., Самосьев П.В. Диагностирование привода лифта // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. №7-1. С.184-194.
19. Каталог стальных канатов. Официальный сайт компании Hangzhou Metal. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.hangzhoumetal.ru/production/liftovo-e-napravlenie/catalog/10> (дата обращения 25.03.2021).
- † site. Available at: <http://otis.com/site/ru/pages/Gen2Elevator.aspx> (In Russian)
- † 12. Schindler 3300 Elevator, *Schindler official website*. Available at: <http://www.schindler.com/ru/internet/ru/resheniya-po-peredvizheniju/produkty/lifty/schindler-3300.html> (In Russian)
- † 13. Antsev V.Yu., Vitchuk P.V., Vitchuk N.A., Reykhert N.D. *Ekspperimentalnoye issledovaniye tyagovykh kharakteristik poliuretanovoy lenty* [Experimental study of traction characteristics of polyurethane tape]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskkiye nauki*, 2020, No. 7, pp. 73-79. (In Russian)
- † 14. Malinovsky V.A. *Steel ropes*. Odessa, Astraprint, 2001. 190 p. (In Russian)
- † 15. Gail D. *Poyezdka v Ebikon: aramidnyye kanaty i Yevrolift* [Ebicon Trip: Aramid Ropes and Eurolift]. *Lift*, 2004, No. 2, pp. 12-15. (In Russian)
- † 16. Borokhovich A.I. *Hoisting systems with belt pulling body*. Moscow, Mashinostroenie, 1980. 191 p. (In Russian)
- † 17. Research of gamma-percentage resources of elements of crane mechanisms: report. In: VNIIPTMash. Work supervisor Spitsina I.O. Moscow, 1977, 110 p. (In Russian)
- † 18. Vitchuk P.V., Seroshtan V.I., Samosiev P.V. *Diagnostirovaniye privoda lifta* [Diagnostics of the elevator drive]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskkiye nauki*, 2013, No. 7-1, pp. 184-194. (In Russian)
- † 19. Steel rope catalog, *Hangzhou Metal official website*. Available at: <http://www.hangzhoumetal.ru/production/liftovo-e-napravlenie/catalog/10> (In Russian)