

DOI: 10.53078/20778481_2021_4_45

УДК 629.114.2

Д. В. Непша, В. Н. Клочков, М. В. Соболев

ПАРАМЕТРЫ КОНТАКТНО-СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЛОВИТЕЛЯ ПЛАВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ АВАРИЙНОЙ ОСТАНОВКИ

D. V. Nepsha, V. N. Klochkov, M. V. Sobolev

PARAMETERS OF CONTACT-FORCE INTERACTION BETWEEN ELEMENTS OF THE PROGRESSIVE SAFETY GEAR DURING AN EMERGENCY BRAKING STOP

Аннотация

Приведено описание конструкции и принципа работы узла безопасности лифта – ловителя плавного торможения двустороннего действия роликового типа. Определены параметры силового взаимодействия рабочих элементов для обеспечения плавного торможения кабины лифта в зависимости от направления движения в процессе аварийной остановки (посадка на ловитель). Приведён расчёт величин усилий на основании экспериментально полученных величин коэффициентов трения, возникающих на рабочих элементах ловителя.

Ключевые слова:

узел безопасности, ловитель плавного торможения, улавливаемая масса, замедление, лифт.

Для цитирования:

Непша, Д. В. Параметры контактно-силового взаимодействия элементов ловителя плавного торможения в процессе аварийной остановки / Д. В. Непша, В. Н. Клочков, М. В. Соболев // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2021. – № 4 (73). – С. 45–55.

Abstract

The paper describes the design and operating principle of the elevator safety unit – a by-directional progressive safety gear of the roller type. The parameters of the force interaction between the working elements to ensure smooth braking of the elevator cab depending on the direction of movement during an emergency stop (due to the actuation of the progressive safety gear) have been determined. The calculation of force magnitudes is presented based on the experimentally obtained values of friction coefficients arising on the working elements of the progressive safety gear.

Keywords:

safety component, progressive safety gear, trapped mass, deceleration, elevator.

For citation:

Nepsha, D. V. Parameters of contact-force interaction between elements of the progressive safety gear during an emergency braking stop / D. V. Nepsha, V. N. Klochkov, M. V. Sobolev // The Belarusian-Russian university herald. – 2021. – № 4 (73). – P. 45–55.

Введение

Для того чтобы обеспечить безопасную эксплуатацию лифта, в нем предусмотрены устройства безопасно-

сти. В общем случае все устройства безопасности можно разделить на механические и электрические.

К механическим устройствам безопасности относятся:

- ловители;
- ограничитель скорости;
- буфера;
- замок двери шахты.

Ловитель – узел безопасности, необходимый для остановки движущейся кабины лифта и удержания на направляющих в случае превышения скорости движения лифта или обрыва канатов. Технические параметры ловителей регламентированы стандартами по безопасной эксплуатации лифтов [1–4].

Рассмотрим принцип срабатывания ловителей (рис. 1).

На ограничитель скорости 1 накинута закольцованный на механизме

включения 3 канат 2, необходимое усилие натяжения в ветвях каната реализуется натяжным устройством 5. При движении кабины лифта со скоростью, не превышающей 115 % от номинальной, шкив ограничителя скорости 1 реализует свободное вращение. В случае превышения происходит заклинивание механизма ограничителя скорости с фиксацией шкива, что приводит к созданию усилия протягивания. Возникающее при этом усилие в канате ограничителя скорости приводит к срабатыванию механизма включения 3 и срабатыванию ловителей 4.

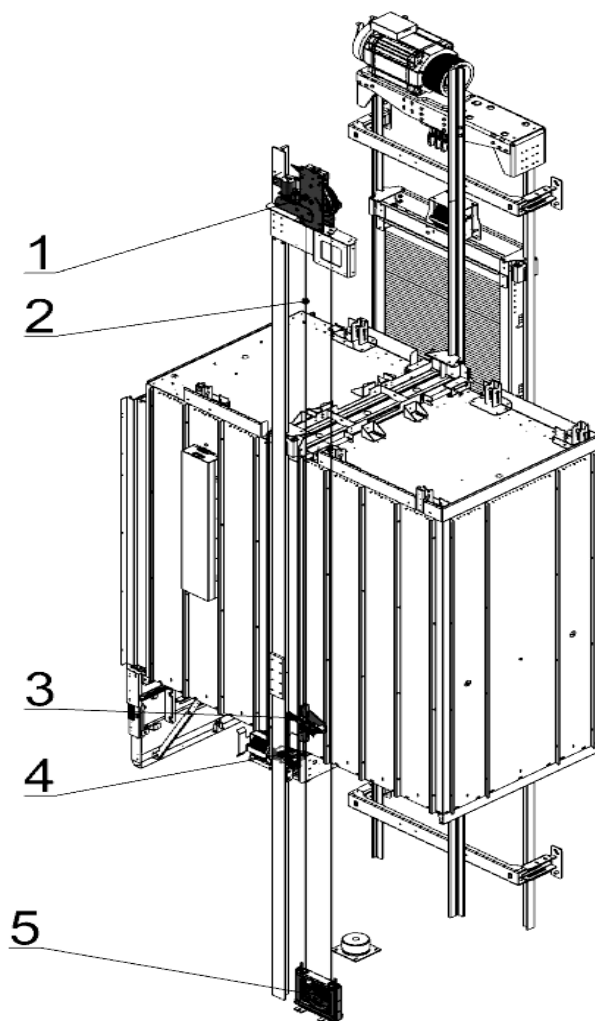


Рис. 1. Общий вид лифта: 1 – ограничитель скорости; 2 – канат; 3 – механизм включения ловителей; 4 – ловители; 5 – натяжное устройство

Основная часть

Принцип работы ловителя двустороннего действия плавного торможения.

На рис. 2 представлен общий вид ловителя.

Ловитель состоит из корпуса 1, в который устанавливаются основание 2 с роликами 3 и тормозная колодка 4. Между корпусом 1 и тормозной колодкой 4 установлена плоская пружина 5. Ловитель приводится в работу путём воздействия на оси 6, установленные в роликах 3. Необходимое усилие тормо-

жения создаётся за счёт пружины 5, которая, при закатывании ролика 3 в рабочее положение, создаёт необходимое усилие поджатия тормозной колодки 4 к направляющей и ролика 3 к основанию 2. Тормозная колодка 4 поджимается к пружине 5 винтами 7. Необходимое усилие поджатия создаётся за счёт соответствующего исполнения пружины 5 и регулировочных прокладок 8. Направляющая пластина 9 предотвращает выпадение роликов 3 из корпуса 1, а пластина 10 с табличкой-пломбой 11 служит для опломбирования ловителя.

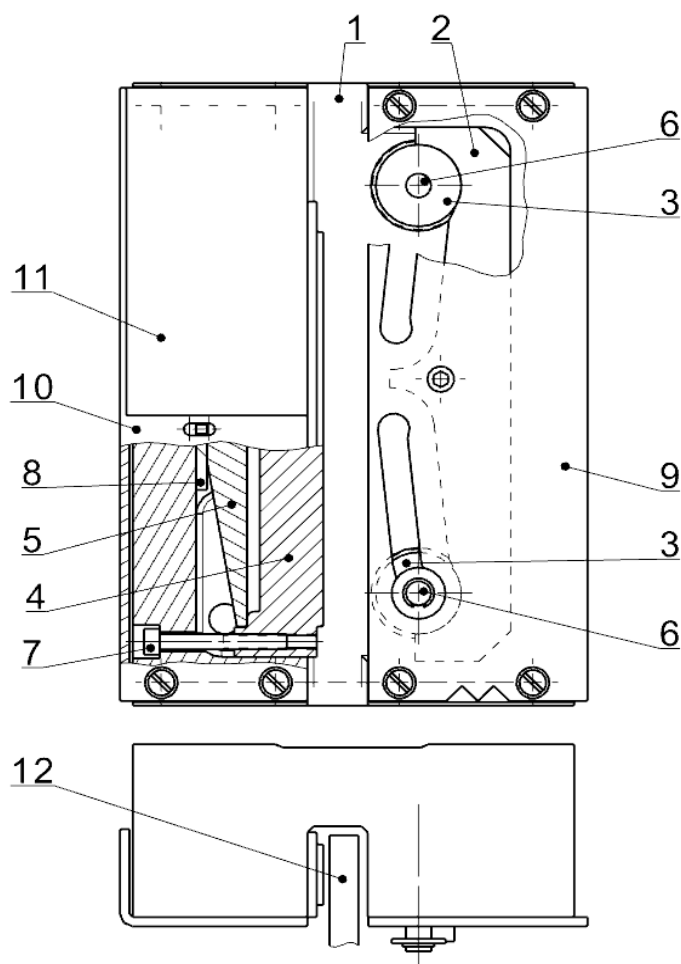


Рис. 2. Общий вид ловителя: 1 – корпус; 2 – основание; 3 – ролики; 4 – тормозная колодка; 5 – пружина; 6 – оси; 7 – винты; 8 – регулировочные прокладки; 9 – направляющая пластина; 10 – пластина; 11 – табличка-пломба; 12 – направляющая

Обязательное условие – реализация явления самозатягивания. Вслед-

ствие того, что лифтовая направляющая может быть покрыта тонким слоем

смазки (при использовании в конструкции лифта башмаков скольжения), ролик 3 выполнен с нанесённой рифлёной поверхностью на цилиндрической части, контактирующей непосредственно с направляющей, а шейки, контактиру-

ющие с основанием, выполнены в виде гладких поверхностей.

На рис. 3 представлено схематичное изображение взаимодействия элементов в процессе закатывания ролика.

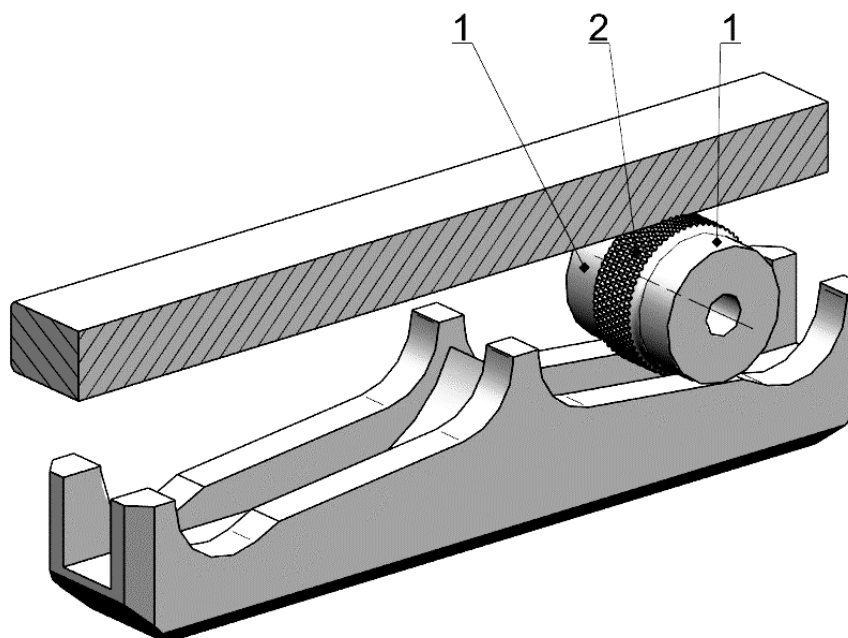


Рис. 3. Схематичное изображение взаимодействия элементов в процессе закатывания ролика: 1 – сетчатое рифление; 2 – гладкая поверхность

Срабатывание ловителей при движении лифта.

При движении кабины лифта вниз или вверх возможно возникновение аварийной ситуации. Обеспечение необходимой величины силы торможения, в обоих случаях, требуется для обеспечения замедления, которое позволит сохранить здоровье и жизнь пассажиров.

Величина тормозного усилия ловителя формируется из сил:

- трения скольжения тормозной колодки вдоль направляющей лифта;
- трения скольжения ролика по основанию;
- сопротивления перекачиванию ролика вдоль направляющей лифта.

Последовательно рассмотрим оба варианта срабатывания ловителя.

Срабатывание ловителя при движении кабины вниз.

Ловители должны остановить и удержать на направляющих кабину лифта или противовес, даже в случае обрыва тяговых канатов. В соответствии с нормами стандарта: «среднее замедление свободно падающей кабины с грузом, масса которого равна номинальной грузоподъёмности, или же противовеса, или уравновешивающего устройства кабины при посадке на ловители плавного торможения должно быть не менее $1,9 \text{ м/с}^2$ и не более $9,81 \text{ м/с}^2$ ».

Усилие торможения при посадке вниз $F \downarrow$, Н, вычисляется по формуле

$$F \downarrow = (P + Q) \cdot (g + a), \quad (1)$$

где P – масса пустой кабины и присоединенных к ней элементов, кг;
 Q – номинальная грузоподъемность, кг;
 g – ускорение свободного падения, м/с²;
 a – средняя величина замедления, м/с².

Срабатывание ловителя при движении кабины вверх.

В случае превышения скорости поднимающейся вверх кабины, например, вследствие неуравновешенности масс пустой кабины и противовеса ($m_{\text{каб}} < m_{\text{пр}}$), при отсутствии срабатывания тормоза, ловитель должен создавать тормозное усилие для обеспечения замедления ($a_{\text{в}} \leq q$) и последующего удержания системы.

жания системы.

Для численного определения величины усилия торможения рассмотрена система «кабина – противовес» (рис. 4) с кинематической схемой бесполоспадной системы. Данный принцип также применим и для полиспастных систем.

Неуравновешенность системы приводит к ускоренному перемещению кабины вверх, а противовеса вниз, при этом на элементы системы действуют силы:

- силы тяжести ($G_{\text{каб}}$ на кабину и $G_{\text{пр}}$ на противовес);
- сила натяжения каната T .

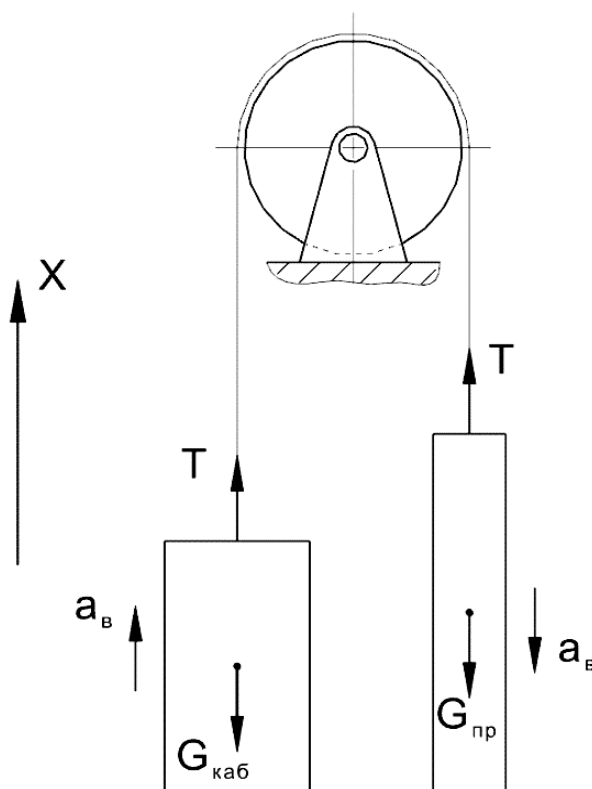


Рис. 4. Схема сил, действующих на систему при разгоне пустой кабины противовесом

Запишем уравнение равновесия для каждого из объектов системы:

$$\begin{cases} \vec{T} + \vec{G}_{\text{каб}} = m_{\text{каб}} \cdot \vec{a}_{\text{в}}; \\ \vec{T} + \vec{G}_{\text{пр}} = m_{\text{пр}} \cdot \vec{a}_{\text{в}}. \end{cases} \quad (2)$$

Спроецируем на ось X силы, действующие на кабину и противовес:

$$\begin{cases} T - G_{\text{каб}} = m_{\text{каб}} \cdot a_{\text{в}}; \\ T - G_{\text{пр}} = -m_{\text{пр}} \cdot a_{\text{в}}, \end{cases} \quad (3)$$

где T – сила натяжения канатов, Н;
 $G_{\text{каб}}$ – сила тяжести кабины, Н;
 $G_{\text{пр}}$ – сила тяжести противовеса, Н;
 $m_{\text{каб}}$ – масса кабины, кг; $m_{\text{пр}}$ – масса
 противовеса, кг; $a_{\text{в}}$ – ускорение подъёма
 кабины, м/с².

В свою очередь силы тяжести ка-
 бины и противовеса вычисляются по
 формулам

$$G_{\text{каб}} = m_{\text{каб}} \cdot g; \quad (4)$$

$$G_{\text{каб}} = m_{\text{пр}} \cdot g. \quad (5)$$

Подставив формулы (4) и (5) в (3)
 и приравняв силы натяжения канатов T ,
 получаем, что ускорение, с которым
 противовес разгоняет пустую кабину $a_{\text{в}}$,
 вычисляется по формуле

$$a = g \cdot \frac{m_{\text{пр}} - m_{\text{каб}}}{m_{\text{пр}} + m_{\text{каб}}} \quad (6)$$

при условии, что

$$m_{\text{пр}} = m_{\text{каб}} \frac{Q}{2}. \quad (7)$$

Подставив формулу (7) в (6), после
 преобразований получаем

$$a_{\text{в}} = g \cdot \frac{Q}{4 \cdot m_{\text{каб}} + Q}. \quad (8)$$

Определим усилие, которое необ-
 ходимо приложить к кабине, чтобы
 остановить кабину с допустимым за-
 медлением.

Сила торможения $F \uparrow$, приложен-
 ная к кабине, предотвращает перевеши-
 вание кабины противовесом и замедляет
 кабину с допустимым ускорением $a_{\text{в}}$.

Рассмотрим торможение системы
 «кабина – противовес», при которой
 $m_{\text{каб}} < m_{\text{пр}}$ (рис. 5).

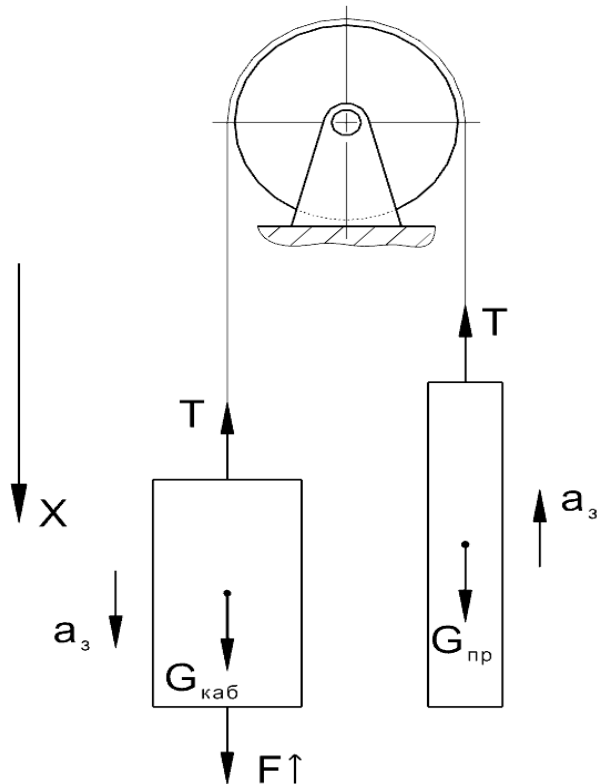


Рис. 5. Схема сил при замедлении кабины, поднимающейся вверх с превышением скорости

Запишем уравнения равновесия объектов системы:

$$\begin{cases} \vec{T} + \vec{G}_{\text{каб}} + F \uparrow = m_{\text{каб}} \cdot \vec{a}_3; \\ \vec{T} + \vec{G}_{\text{пр}} = m_{\text{пр}} \cdot \vec{a}_3. \end{cases} \quad (9)$$

Спроецируем на ось X силы, действующие на кабину и противовес:

$$\begin{cases} F \uparrow + G_{\text{каб}} - T = m_{\text{каб}} \cdot a_3; \\ G_{\text{пр}} - T = -m_{\text{пр}} \cdot a_3. \end{cases} \quad (10)$$

Подставив формулы (4) и (5) в (10) и приравняв силы натяжения канатов T , получаем, что сила торможения $F \uparrow$, N , для остановки системы с замедлением $a_в$ вычисляется по формуле

$$F \uparrow = g \cdot (m_{\text{пр}} - m_{\text{каб}}) + a \cdot (m_{\text{пр}} + m_{\text{каб}}) \quad (11)$$

или по формуле

$$F \uparrow = g \cdot \frac{Q}{2} + a_3 \cdot (2 \cdot m_{\text{каб}} + \frac{Q}{2}). \quad (12)$$

Снятие с ловителей осуществляется перемещением кабины лифта в направлении, противоположном срабатыванию ловителя. При этом уменьшение усилия, необходимого для снятия, достигается наличием тела качения (ролик).

Определение силового воздействия на рабочие элементы ловителя.

В процессе торможения на элементы ловителя воздействуют распирающие усилия и создаваемые ими силы трения (тормозные усилия), обусловленные геометрией конструкции и параметрами упругого элемента (рис. 6).

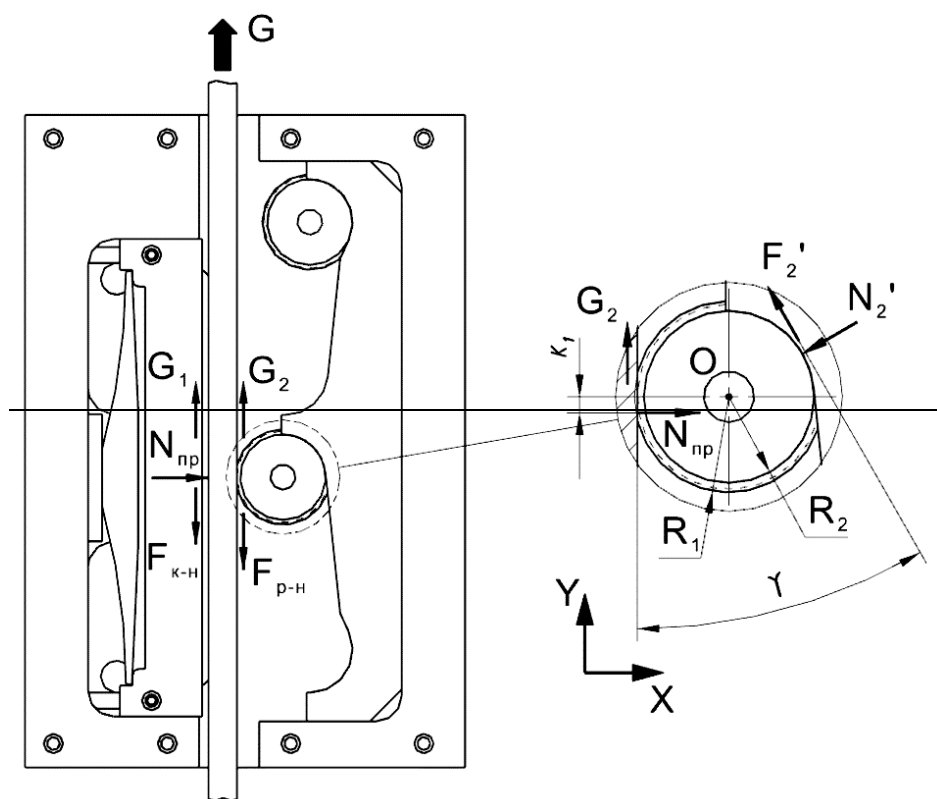


Рис. 6. Схема распределения усилий в элементах конструкции ловителя плавного торможения

Каждый из рабочих элементов воспринимает свою часть общего усилия торможения G :

$$G = G_1 + G_2, \quad (13)$$

где G_1 – усилие торможения колодки по направляющей, Н; G_2 – усилие торможения ролика по направляющей, Н.

Сила трения колодки по направляющей $F_{к-н}$, Н, вычисляется следующим образом:

$$G_1 = F_{к-н} = N_{пр} \mu_1, \quad (14)$$

где $N_{пр}$ – сила прижатия пружиной, Н; μ_1 – коэффициент трения колодки по направляющей.

Усилие перемещения ролика по направляющей G_2 равно силе сопротивления качению ролика по направляющей $F_{р-н}$:

$$G_2 = F_{р-н}. \quad (15)$$

Для определения силы сопротивления качению ролика по направляющей $F_{р-н}$ составим уравнения суммы моментов относительно точки O и спроецируем действующие силы на ось X (см. рис. 6):

$$\sum M_O = 0: G_2 \cdot R_1 - \vec{F}_2 \cdot R_2 - N_{пр} \cdot k_1 = 0; \quad (16)$$

$$\sum X = 0: N_{пр} - F'_2 \cdot \sin \gamma - N'_2 \cdot \cos \gamma = 0. \quad (17)$$

Выражая F'_2 из уравнения (16) и подставляя в уравнение (17), получаем

$$\begin{aligned} G_2 &= N_{пр} \cdot \frac{k_1 (\sin \gamma + \cos \gamma) \cdot \mu_2 \cdot R_2}{R_1 \cdot (\sin \gamma + \cos \gamma)} = \\ &= N_{пр} \cdot f_{п}, \end{aligned} \quad (18)$$

где k_1 – коэффициент трения качения ролика по направляющей, см; $f_{п}$ – приведенный коэффициент сопротивления

качения ролика по направляющей.

Усилие прижатия пружиной при посадке вниз $N_{пр} \downarrow$, Н, вычисляется по формуле

$$N_{пр} \downarrow = \frac{F \downarrow}{n \cdot (\mu_1 + f_{п})}, \quad (19)$$

где n – количество ловителей в каресе лифта.

Усилие прижатия пружиной при превышении скорости поднимающейся вверх кабины $N_{пр} \uparrow$, Н, вычисляется по формуле

$$N_{пр} \uparrow = \frac{F \uparrow}{n \cdot (\mu_1 + f_{п})}. \quad (20)$$

Определение коэффициентов трения в ловителе.

Для определения коэффициентов трения скольжения колодки по смазанной направляющей 2Т2-А ТУ14-11-245–88 была реализована схема нагружения, представленная на рис. 7 (температура окружающей среды 19,4 °С...+20,6 °С; атмосферное давление 741 мм рт. ст.; влажность 54 %).

При помощи болтов 5 (см. рис. 7) деформируются пружины 2 и 2* до достижения требуемой величины напряжений, соответствующей заданному значению усилия $N_{пр} = 50$ кН (усилия, возникающие в обеих пружинах, равны). При перемещении направляющей вдоль приспособления фиксируется возникающая сила протягивания.

На рис. 8 приведена гистограмма распределения коэффициента трения скольжения μ_1 колодки по смазанной направляющей 2Т/2А на основании полученных экспериментальных данных.

Для определения суммарного коэффициента сопротивления $\mu_1 + f_{п}$ проведено протягивание ловителя (пружина – применение тензометрического комплекса) с фиксацией величины тормозного усилия и усилия на пружине.

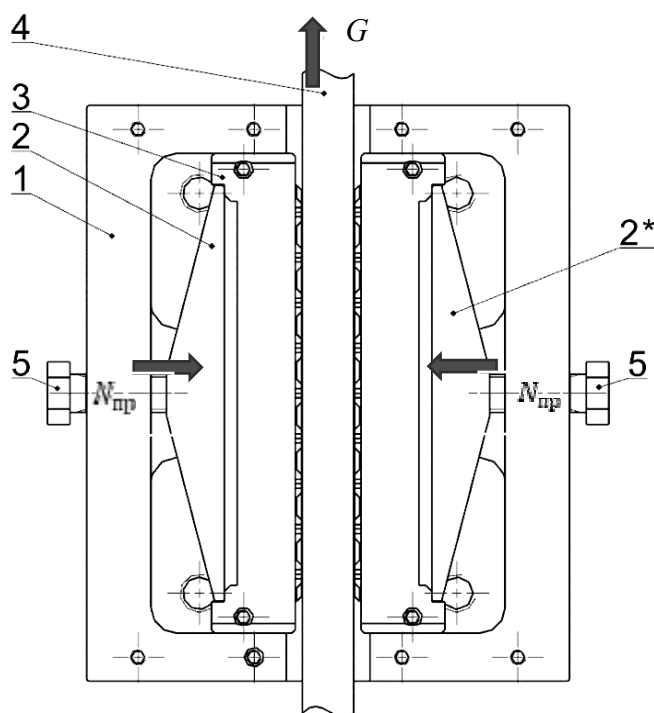


Рис. 7. Схема для определения коэффициента трения колодки по направляющей: 1 – корпус; 2 – пружина; 2* – пружина с тензодатчиком; 3 – колодка тормозная; 4 – направляющая; 5 – болтовой упор



Рис. 8. Гистограмма распределения коэффициента трения μ_1 колодки по смазанной направляющей

На рис. 9 приведена гистограмма распределения суммарного коэффициента сопротивления $\mu_1 + f_n$ на основании полученных экспериментальных данных.

Как следует из рис. 8 и 9, коэффи-

циент трения варьируется в пределах:

– колодки по направляющей $\mu_1 = 0,126...0,146$;

– общий коэффициент сопротивления $\mu_1 + f_n = 0,29...0,36$.

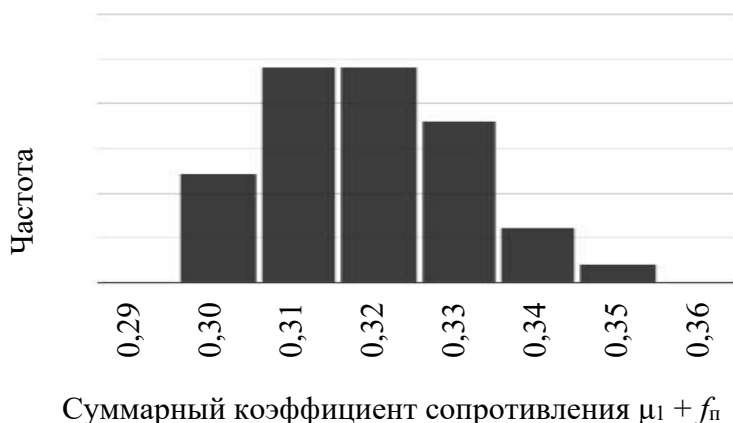


Рис. 9. Гистограмма распределения суммарного коэффициента сопротивления $\mu_1 + f_{\text{п}}$ ловителя

В соответствии с полученными значениями величина коэффициента трения скольжения гладких поверхностей шеек ролика и основания определяется разностью полученных значений: $f_{\text{п}} = 0,164 \dots 0,214$.

Определение действительных значений коэффициентов сопротивления позволяет спроектировать упругий элемент, плоскую пружину, для обеспече-

ния посадки кабины с требуемым замедлением.

Руководствуясь вышеизложенными положениями для лифта, имеющего максимальные массогабаритные показатели и величину номинальной грузоподъёмности (ограничение по диапазону работоспособности ловителя), определены силовые параметры, воздействующие на элементы ловителя (табл. 1).

Табл. 1. Величины силовых факторов, действующих в процессе аварийного срабатывания ловителей

P , кг	Q , кг	$F \downarrow$, Н (1)	$F \uparrow$, Н (12)	$N_{\text{пр}} \downarrow$, Н (19)	$N_{\text{пр}} \uparrow$, Н (20)
1352	1275	41143	25816	63297	39717

Заключение

Рассмотрен принцип действия ловителя плавного торможения двустороннего действия с определением параметров силового взаимодействия рабочих элементов ловителя в процессе аварийной остановки в зависимости от направления движения кабины. Экспериментально определены величины коэффициентов трения рабочих элементов для определения необходимой величи-

ны тормозного усилия. Проведён расчёт величин усилий контактно-силового взаимодействия рабочих элементов ловителя при срабатывании в направлении движения кабины вниз. Реализация данного подхода необходима для обеспечения работоспособности узла безопасности в процессе аварийного режима остановки лифта в случае превышения номинальной скорости движения лифта более чем на 15 % или обрыве канатов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **EN 81-20:2014.** Safety rules for the construction and installation of lifts. – Lifts for the transport of persons and goods. – Part 20: Passenger and goods passenger lifts.
2. **EN 81-50:2014.** Safety rules for the construction and installation of lifts. – Examinations and tests. – Part 50: Design rules, calculations, examinations and tests of lift components.
3. **ГОСТ Р 53780–2010.** Лифты. Общие требования безопасности к устройству и установке. – Введ. 31.03.2010. – Москва: Стандартинформ, 2010.
4. **ГОСТ 33984.1–2016.** Лифты. Общие требования безопасности к устройству и установке. Лифты для транспортировки людей или людей и грузов. – Введ. 01.10.2018. – Москва: Стандартинформ, 2017.

Статья сдана в редакцию 30 сентября 2021 года

Дмитрий Владимирович Непша, инженер-конструктор 2-й категории ОПР НТЦ, ОАО «Могилевлифтмаш». Тел.: +375-29-240-14-41. E-mail: nepsha.dzmitry@gmail.com.

Виктор Николаевич Клочков, начальник бюро надёжности Олаб НТЦ, ОАО «Могилевлифтмаш». Тел.: +375-29-743-68-10. E-mail: vnklochkov@mail.ru.

Максим Валерьевич Соболев, директор НТЦ, ОАО «Могилевлифтмаш». Тел.: +375-29-242-02-68.

Dmitry Vladimirovich Nepsha, 2nd category design engineer of STC Prospective Development Department, JSC Mogilevliftmash. Tel.: +375-29-240-14-41. E-mail: nepsha.dzmitry@gmail.com.

Viktor Nikolayevich Klochkov, Head of Reliability Department of the STC branch laboratory, JSC Mogilevliftmash. Tel.: +375-29-743-68-10. E-mail: vnklochkov@mail.ru.

Maksim Valeryevich Sobolev, STC Director, JSC Mogilevliftmash. Tel.: +375-29-242-02-68.