

Расчет и конструирование машин

УДК 621.876.11

DOI 10.18698/0536-1044-2016-5-3-8

Искусственный моментный дисбаланс как ограничитель угловой скорости ротора

Г.А. Тимофеев¹, Е.Г. Мор², Н.Н. Барбашов¹¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1² Тель-Авивский университет, 69978, Тель-Авив, Израиль, P.O. Box 39040

Artificial Moment Unbalance as a Restrictor of the Rotor Angular Speed

G.A. Timofeev¹, E.G. Mor², N.N. Barbashov¹¹ BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1² Tel Aviv University, TAU, P.O. Box 39040, 69978, Tel Aviv, Israel

e-mail: timga@bmstu.ru, mor1589@inter.net.il



Эвакуация людей из горящих многоэтажных домов является сложной задачей. В связи с этим спроектировано и рассчитано спасательное устройство, которое не требует специального обучения или подготовки и может использоваться как для самостоятельного спуска людей или грузов на землю, так и для спасения пострадавших, находящихся в бессознательном состоянии. Это позволяет исключить из конструкции устройства центробежные тормозные механизмы, применяемые в известных спусковых аппаратах, использовать естественный момент трения в опорах барабана и достичь минимально возможной массы не более 10 кг при высоте спуска до 100 м, а также проектировать переносные спасательные средства различного назначения с возможностью их повторного использования. Разработанное и экспериментально проверенное спасательное устройство спуска работает в устойчивом динамическом равновесии, что позволяет опускать груз с постоянной скоростью.

Ключевые слова: спусковое устройство, спасательное устройство, тормозной механизм, коэффициент трения.



Evacuation of people from burning high-rise buildings is a complex task. For this purpose, a rescue device has been designed that does not require special training or preparation. It can be used for self-descent of people and goods and for rescue of the injured who are in an unconscious state. It makes it possible to exclude centrifugal braking mechanisms used in conventional descending devices from the design of the proposed device. It allows the use of the natural frictional torque in the drum bearings and the minimal possible weight not exceeding 10 kg at the descent height of up to 100 m. This design can be used to develop portable reusable rescue devices of various applications. The developed and experimentally tested rescue descending device operates in the stable dynamic equilibrium where the load can descend at a constant speed.

Keywords: descender, rescue device, braking mechanism, coefficient of friction.

Наиболее надежным средством экстренного спасения людей, в частности, из зданий, охваченных пламенем, является *самостоятельная* эвакуация [1–3]. Она предусматривает выход из помещения через оконный проем или балкон, присоединение к подвеске (перевязи) спускового устройства и равномерный безопасный спуск до земли вдоль наружной стены здания.

Цель работы — создание специального спасательного устройства, обеспечивающего возможность спуска людей или грузов в аварийных ситуациях без специальных тормозных механизмов.

Обязательным элементом спусковых устройств индивидуального спасения является канат 2 (рис. 1), свободный конец которого оканчивается подвеской, например, в виде ременной наспинно-плечевой перевязи 1.

При *пассивном режиме* спуска [4], когда спасаемый не совершает никаких действий, канат намотан на барабан 3, прикрепленный к вы-

движному анкерному устройству, которое может принимать различные очертания в зависимости от принятого способа его фиксации в помещении. Здесь Г-образная опорная балка 4 снабжена вертикальным стержнем 5 на ее коротком участке 7.

Сбоку от окна под карнизом предусмотрена неподвижная вертикальная втулка 6. Система готова к использованию, когда стержень 5 опущен во втулку 6. Человека или ценный груз прикрепляют к подвеске 1, поворачивают балку наружу здания и после плавного натяжения каната приступают к спуску.

Важной инженерной задачей является сохранение постоянной скорости спуска, для физически ослабленных людей — не более 2 м/с. Для обеспечения необходимой силы трения, поддерживающей динамическое равновесие системы, предложены различные схемы спусковых устройств. Это либо механизмы, снабженные подпружиненными регуляторами центростремительного типа, либо гидравлические тормоза с системой перепускных дроселирующих каналов [5–7].

Представленное спасательное средство не содержит вспомогательных подвижных элементов: скорость вращения барабана самостоятельно адаптируется к заданной скорости спуска. Устройство не требует специального обучения или подготовки и может использоваться как для самостоятельного спуска грузов и людей на землю, так и для спасения пострадавших, находящихся в бессознательном состоянии.

Для случая внезапного отключения привода в пассажирских лифтах предусмотрены различные ловители [8–10], обеспечивающие остановку кабины в любом месте шахты и ее плавный спуск до ближайшей площадки. Предложенный в работе принцип торможения значительно упрощает и удешевляет устройство.

Барабан выполнен *динамически неуравновешенным*, вследствие чего сила тяжести спускающегося человека создает в его опорах определенный момент трения. С увеличением угловой скорости барабана тормозящий момент возрастает и при заданной скорости спуска становится равным моменту, передаваемому от опускаемого груза. В итоге устройство поддерживает постоянную скорость спуска, обычно не более 1,5...2,5 м/с.

Рассмотрим конструктивные особенности и принцип действия переносного ограничителя

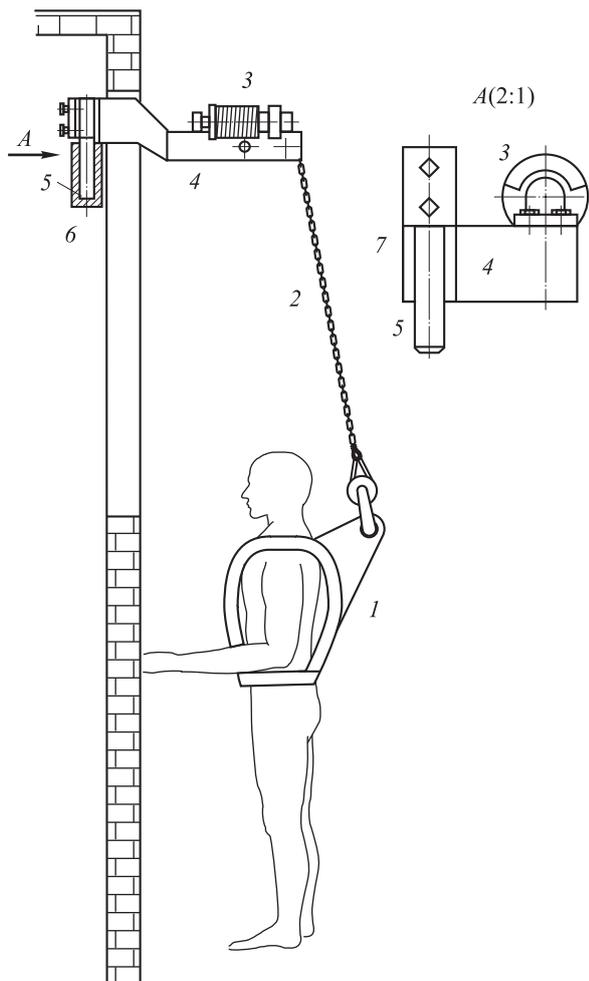


Рис. 1. Спусковое устройство индивидуального спасения

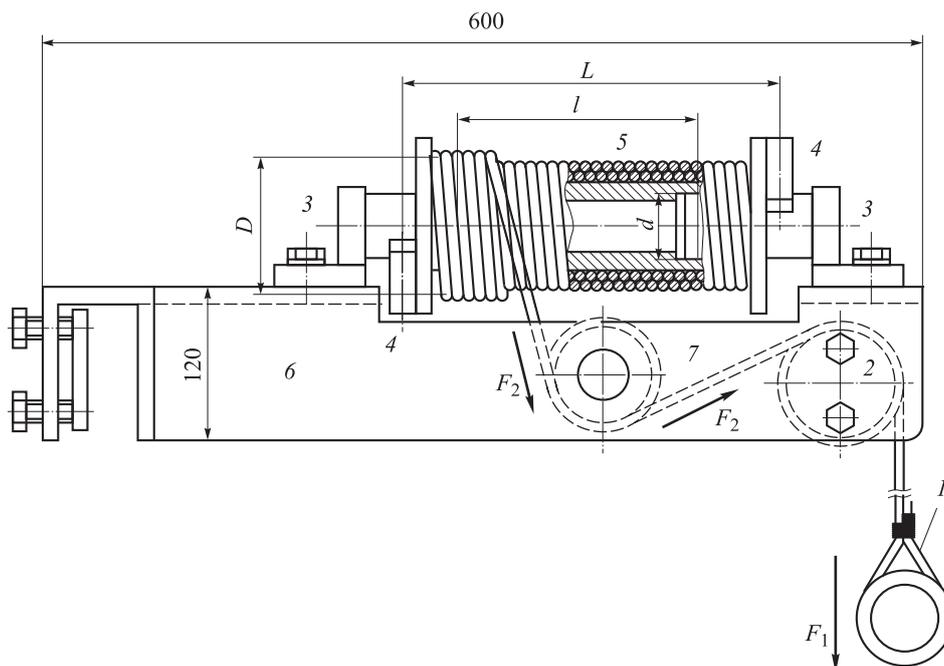


Рис. 2. Переносной ограничитель скорости

скорости (рис. 2). Его основные части — канат с подвеской 1, неподвижный шкив 2 и вращающийся барабан 5, на концах которого установлена пара дебалансов 4. Между цилиндром и барабаном размещен направляющий ролик 7.

Две одинаковые опоры 3 барабана, шкив и ролик установлены на съемной балке 6, которую прикрепляют внутри комнаты, например, к карнизу окна, как показано на рис. 1.

Канат фиксирован на барабане, огибает направляющий ролик, охватывает неподвижный шкив определенным количеством витков и затем свободно сброшен.

Дебалансы в форме сегментов, каждый со статическим моментом S относительно оси барабана, расставлены противоположно друг другу. Сегменты статически уравнивают друг друга, однако при вращении они порождают динамический моментный дисбаланс, который передается подшипникам барабана и создает в них тормозящий момент трения.

С возрастанием скорости вращения момент трения в опорах резко увеличивается по параболическому закону и при достижении проектной скорости спуска v становится равным моменту на барабане от натяжения F_2 вторичной ветви каната.

Одно из достоинств рассматриваемой системы состоит в том, что натяжение $F_1 = G$ первичной ветви каната от силы тяжести G опускае-

мого груза редуцируется на неподвижном барабане, вследствие чего нагрузка F_2 , передаваемая на шкив, в десятки раз меньше веса опускаемого груза. Это позволяет:

- исключить из конструкции устройства центробежные тормозные механизмы, применяемые в известных спусковых аппаратах, и использовать естественный момент трения в опорах барабана;
- достичь минимально возможной массы не более 10 кг при высоте спуска до 100 м;
- проектировать переносные спасательные средства различного назначения с возможностью их повторного использования.

Пусть дебалансы массой m каждый расставлены по краям барабана диаметром D на расстоянии L друг от друга. При известной скорости спуска v угловая скорость барабана $\omega = 2v/D$. Тогда моментная неуравновешенность [11]

$$M = m\omega^2LD/2 = 4mv^2L/D = 8Sv^2L/D^2, \quad (1)$$

где $S = mD/2$ — статический момент дебаланса относительно оси барабана.

Под действием момента (1), стремящегося повернуть ось барабана, в каждом подшипнике возникает реакция

$$R = M/l = 8Sv^2\lambda/D^2, \quad (2)$$

где $\lambda = L/l$ — отношение длины барабана L к расстоянию l между серединами его опор.

Приведенный коэффициент трения в неработающих цапфах (спусковое устройство используют редко) имеет вид [12]

$$f'_2 = 1,5 f_2, \quad (3)$$

где f_2 — экспериментальный (табличный) коэффициент трения плоских соприкасающихся поверхностей тех же материалов цапфы и подшипника.

Используя выражения (2) и (3), определим суммарную силу трения

$$F_f = 2 f R = 12 f \lambda S v^2 / D^2,$$

а затем суммарный момент трения

$$M_f = F_f d / 2 = 6 f \lambda S v^2 d / D^2, \quad (4)$$

где d — диаметр цапфы.

С другой стороны, сила натяжения F_2 вторичной ветви каната, подводимая к барабану, раскручивает его моментом

$$M_2 = F_2 D / 2, \quad (5)$$

и, чтобы уравновесить систему, приравняем выражения (4) и (5):

$$M_f = M_2.$$

После преобразований получим скорость спуска

$$v = \sqrt{\frac{F_2 D^3}{12 f_2 \lambda S d}}.$$

Как отмечено ранее, натяжение F_2 вторичной ветви каната, набегающей на неподвижный шкив (см. рис. 2), значительно меньше силы тяжести $G = F_1$ опускаемого груза на сбегавшей ветви. Силы F_2 и F_1 связаны известным соотношением Эйлера

$$F_2 = F_1 / \exp(f_1 \alpha),$$

где f_1 — коэффициент трения каната на шкиве; $\alpha = 2\pi n$ — угловая дуга обхвата (n — количество витков, намотанных на шкив).

В итоге система приходит в **устойчивое динамическое равновесие** и груз опускается с **постоянной скоростью**

$$v = \sqrt{\frac{GD^3}{12 f_2 \lambda S d [1 + \exp(2\pi n f_1)]}}. \quad (6)$$

Приведем пример расчета скорости спуска.

Основные параметры устройства

Диаметр барабана D , мм 120
Длина барабана L , мм 200

Расстояние между серединами опор l , мм 160
Число витков на неподвижном цилиндре n 4,5
Число витков на барабане Зависит от высоты спуска

Диаметр оси барабана d , мм 50
Статический момент одного дебаланса S , кг·м ... 0,03
Сила тяжести опускаемого груза G , Н 1 000
Коэффициент трения:

на неподвижном барабане f_1 0,12
в подшипниках барабана f_2 0,1

Определим передаточный коэффициент:

$$\lambda = 200/160 = 1,25.$$

Согласно формуле (6), получим

$$v = \sqrt{\frac{1000 \cdot 0,12^3}{12 \cdot 0,1 \cdot 0,03 \cdot 1,25 \cdot 0,05 \cdot [1 + \exp(2\pi \cdot 4,5 \cdot 0,12)]}} = 1,13 \text{ м/с.}$$

Важным преимуществом предложенного устройства является то, что натяжение первичной ветви каната от силы тяжести опускаемого груза редуцируется на неподвижном цилиндре, вследствие чего передаваемая на барабан нагрузка в десятки раз меньше веса опускаемого груза.

Выводы

1. Традиционно неуравновешенность механизмов рассматривают в технике как вредное явление, устраняемое балансировкой. В работе показано, что динамический (моментный) дисбаланс может быть полезен, в частности, в спасательных спусковых устройствах.

2. Спроектировано спасательное устройство, которое не требует специальной подготовки и может использоваться как для самостоятельно-го спуска людей на землю, так и для спасения пострадавших, находящихся в бессознательном состоянии. Простой канатный механизм позволяет исключить из конструкции устройства известные центробежные тормозные системы и использовать естественный момент трения в опорах барабана, создаваемый его моментной неуравновешенностью. Система спуска находится в устойчивом динамическом равновесии, что дает возможность опускать груз с постоянной скоростью.

3. Дополнительным преимуществом предложенного устройства является то, что натяжение первичной ветви каната от силы тяжести опускаемого груза редуцируется на неподвижном

ном шкиве, вследствие чего передаваемая на барабан нагрузка уменьшается в десятки раз, а масса всего устройства не превышает 10 кг при высоте спуска до 100 м.

Литература

- [1] Кашевник Б.Л. Условия для возможности использования на зданиях аварийно-спасательного снаряжения. Проблемы и решения. *Пожаровзрывобезопасность*, 2005, т. 14, № 5, с. 37–39.
- [2] Копытков В.В., Шныпарков А.В., Скороход А.З., Саленко А.Н. Устройство для спасения людей из высотных зданий. *Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого*, 2014, № 2, с. 3–6.
- [3] Завражин Н.Н. *Технология отделочных строительных работ*. Москва, Академия, 2009. 416 с.
- [4] Мор Е.Г. *Самонастраивающиеся механизмы*. Саарбрюккен, Palmarium Academic publishing, 2015. 66 с.
- [5] Третьяков Ю.Д., Смирнов В.М. *Индивидуальное средство спасения*. Пат. 2455040 С2 РФ, 2012, бюл. № 19.
- [6] Nelson E.I. *High rise fire escape mechanism*. Patent US4674599, 1987.
- [7] Renton J.E., Nott P.T.M. *Personal height rescue apparatus*. Patent US20090173578 A1. 2005.
- [8] ГОСТ Р 53780–2010. *Общие требования безопасности к устройству и установке*. Москва, Стандартинформ, 2010.
- [9] Семенюк В.Ф., Вудвуд А.Н. Сравнительный анализ способов торможения механизма подъема лифта. *Підйомно-транспортна техніка*, 2013, № 2, с. 52–58.
- [10] Тушмалов В.А. *Электрические лифты*. Москва, Рипол Классик, 2013. 180 с.
- [11] Тимофеев Г.А., ред. *Теория механизмов и механика машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 688 с.
- [12] Артоболевский И.И. *Теория механизмов и машин*. Москва, Наука, 1988. 640 с.

References

- [1] Kashevnik B.L. Usloviia dlia vozmozhnosti ispol'zovaniia na zdaniiax avariino-spasatel'nogo snariazheniia. Problemy i resheniia [Conditions for Possible Use of Survival Equipment in Buildings. Problems and Solutions]. *Pozharovzryvobezopasnost'* [Fire and Explosion Safety]. 2005, vol. 14, no. 5, pp. 37–39.
- [2] Kopytkov V.V., Shnyparkov A.V., Skorokhod A.Z., Salenko A.N. Ustroistvo dlia spaseniia liudei iz vysotnykh zdaniy [A device for rescuing people from high buildings]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo* [Journal of Gomel state technical University n. a. P.O. Sukhoi]. 2014, no. 2, pp. 3–6.
- [3] Zavrazhin N.N. *Tekhnologiya otdelochnykh stroitel'nykh rabot* [Technology of finishing of construction works]. Moscow, Akademiia publ., 2009. 416 p.
- [4] Mor E.G. *Samonastravaiushchiesia mekhanizmy* [Self-tuning mechanisms]. Saarbrücken, Palmarium Academic publishing, 2015. 66 p.
- [5] Tret'iakov Iu.D., Smirnov V.M. *Individual'noe sredstvo spaseniia* [Individual means of rescue]. Patent RF no. 2455040 C2, 2012.
- [6] Nelson E.I. *High rise fire escape mechanism*. Patent US4674599, 1987.
- [7] Renton J.E., Nott P.T.M. *Personal height rescue apparatus*. Patent US20090173578 A1, 2005.
- [8] GOST R 53780–2010. *Obshchie trebovaniia bezopasnosti k ustroistvu i ustanovke* [EH 81-1,2:1998. Safety rules for the construction and installations of lifts]. Moscow, Standartinform publ., 2010.
- [9] Semeniuk V.F., Vudvud A.N. Sravnitel'nyi analiz sposobov tormozheniia mekhanizma pod"ema lifta [Comparative analysis of methods of braking of the lifting mechanism of the lift]. *Pidiomno-transportna tekhnika* [Handling equipment]. 2013, no. 2, pp. 52–58.
- [10] Tushmalov V.A. *Elektricheskie lifty* [Electric elevators]. Moscow, Ripol Klassik publ., 2013. 180 p.

- [11] *Teoriia mekhanizmov i mekhanika mashin* [Theory of mechanisms and mechanics of machines]. Ed. Timofeev G.A. Moscow, Bauman Press, 2012. 688 p.
- [12] Artobolevskii I.I. *Teoriia mekhanizmov i mashin* [Theory of mechanisms and mechanics of machines]. Moscow, Nauka publ., 1988. 640 p.

Статья поступила в редакцию 08.02.2016

Информация об авторах

ТИМОФЕЕВ Геннадий Алексеевич (Москва) — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Теория механизмов и машин». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: timga@bmstu.ru).

МОР Ефим Григорьевич (Тель-Авив) — доктор технических наук, профессор. Тель-Авивский университет (69978, Тель-Авив, Израиль, P.O. Box 39040, e-mail: mor1589@inter.net.il).

БАРБАШОВ Николай Николаевич (Москва) — доцент кафедры «Теория механизмов и машин». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Information about the authors

TIMOFEEV Gennadiy Alekseevich (Moscow) — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of «Theory of Mechanisms and Machines» Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Bauman-skaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: timga@bmstu.ru).

MOR Efim Grigor'evich (Tel Aviv) — Dr. Sc. (Eng.), Professor of Tel Aviv University (TAU, P.O. Box 39040, 69978, Tel Aviv, Israel, e-mail: mor1589@inter.net.il).

BARBASHOV Nikolay Nikolaevich (Moscow) — Associate Professor of «Theory of Mechanisms and Machines» Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышел в свет учебник
Р.З. Кавтарадзе

«Локальный теплообмен в поршневых двигателях»

Учебник посвящен исследованию локального теплообмена в поршневых двигателях. Значительная его часть написана на основе результатов, полученных в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Ряд вопросов в теории поршневых двигателей рассматривается впервые. В данный учебник, написанный на основе учебного пособия с тем же названием (1-е изд. — 2001 г., 2-е изд. — 2007 г.), включены новые материалы, отражающие достижения последних лет в этой области науки. Содержание учебника соответствует курсу лекций, который автор читает в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для магистрантов, аспирантов, научных и инженерно-технических работников, занимающихся созданием перспективных двигателей, а также исследованием и доводкой существующих моделей.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru