ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 331

П.В. Витчук, Д.Г. Мокин

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЛИФТОВОГО ОГРАНИЧИТЕЛЯ СКОРОСТИ С ИНЕРЦИОННЫМ РОЛИКОМ

Изложены основные принципы проектирования лифтового ограничителя скорости с инерционным роликом. Даны расчетные зависимости. Составлена расчетная схема ограничителя скорости с восьмигранным диском. Представлен алгоритм формирования профиля диска.

Ключевые слова: инерционный ролик, лифт, ловитель, ограничитель скорости, проектирование, расчет, расчетно-конструкционная схема

Ограничитель скорости представляет собой автоматическое устройство, предназначенное для приведения в действие ловителей при аварийном превышении скорости движения кабины (противовеса) вниз [1].

Ограничители скорости классифицируют следующим образом [1]:

- по принципу действия: центробежного типа и с инерционным роликом (согласно классификации в [2] — маятникового типа);
- расположению оси вращения устройства, контролирующего превышение скорости: с вертикальным и горизонтальным расположением оси вращения.

В отечественной практике наибольшее распространение получили ограничители скорости центробежного типа с горизонтальной осью вращения. Их конструкция и методы расчета достаточно хорошо известны и широко представлены в имеющейся литературе [1, 3—15].

В зарубежной практике преимущественно применяют ограничители скорости с инерционным роликом. Такими ограничителями оборудуют лифты фирм OTIS («ОТИС», США), Schindler («Шиндлер», Швейцария), KONE («Конне», Финляндия) и др. В нашей стране их не применяли ввиду несоответствия требованиям ПУБЭЛ [6]. Поэтому в отечественных литературных источниках практически отсутствует описание подобных конструкций.

Так, в [4] приводится описание принципа работы ограничителя скорости сильно устаревшей (разработанной более 60 лет назад) конструкции ограничителя скорости фирмы KONE. В [7] профессором Л. Яновски (Чехия) приведено краткое описание конструкции и принципа работы ограничителя скорости с инерционным роликом и восьмигранным диском. В [5] описан ограничитель скорости с инерционным роликом и четырехгранным диском, составлена его расчетно-конструкционная схема, а также представлены зависимости, которые, вероятно, могут быть положены в основу методики расчета.

В настоящее время с введением в действие Технического регламента таможенного союза ТР ТС 011/2011 «Безопасность лифтов» от 18 октября 2011 г. и ГОСТ Р 53780—2010 (основан на европейских стандартах EN81-1 и EN81-2),

а также расширением сферы использования лифтов зарубежных фирм, рациональной видится разработка методики расчета ограничителей скорости, включающих в свою конструкцию инерционный ролик.

При составлении методики расчета учтены следующие основные требования, предъявляемые ГОСТ Р 53780—2010 к ограничителям скорости:

- ограничитель скорости, приводящий в действие ловители кабины, должен срабатывать, если скорость движения кабины вниз превысит номинальную не менее чем на 15 % и составит не более:

- 0,8 м/с — для ловителей резкого торможения;

- 1,5 м/с — для ловителей плавного торможения и ловителей резкого торможения с амортизирующим элементом при скорости не более 1 м/с;

- $1,25V + 0,25/V$ для ловителей плавного торможения при номинальных скоростях более 1,0 м/с, где V — номинальная скорость кабины, м/с;

- ограничитель скорости, приводящий в действие ловители противовеса или уравнивающего устройства кабины, должен срабатывать, если скорость движения противовеса или уравнивающего устройства кабины вниз превысит номинальную не менее чем на 15 % и не более чем на значение, превышающее на 10 % верхний предел скорости, установленный для срабатывания ограничителя скорости кабины;

- диаметр каната, приводящего в действие ограничитель скорости, должен составлять не менее 6 мм; коэффициент запаса прочности каната ограничителя скорости должен быть не менее 8;

- отношение диаметра шкива (блока) к диаметру каната, приводящего в действие ограничитель скорости, должно быть не менее 30. Для лифтов со скоростью движения до 1,6 м/с это отношение допустимо принимать не менее 25.

Составление расчетно-конструкционной схемы (рис. 1) и вывод основных расчетных зависимостей базируется на следующих данных:

- результатах анализа конструкции ограничителя скорости с инерционным роликом и восьмигранным диском фирмы Schindler, mod. 201;

- расчетно-конструкционной схеме ограничителя скорости с инерционным роликом и четырехгранным диском с нижним расположением приводного рычага [5] и описании принципа работы ограничителя скорости с инерционным роликом и восьмигранным диском [7];

- уравнениях равновесия сил, действующих относительно оси вращения рычага [5].

Принцип работы ограничителя скорости с инерционным роликом заключается в следующем. Шкив 2, приводимый в действие канатом 1, свободно вращается на оси, закрепленной в опорной раме 10. На шкиве размещен восьмигранный диск 3 с закругленными вершинами, по поверхности которого катится ролик 4 с резиновым ободом. Ролик установлен на рычаге 5, один из концов которого имеет выступ в виде зуба 6. На обратной поверхности восьмигранного диска имеются упоры 7, взаимодействующие с зубом рычага, а также шкив малого диаметра, служащий для имитации прироста скорости при проверке ограничителя скорости. Чтобы избежать аварийной ситуации при разрушении пружины, плечи рычага не уравновешены, так как в этом случае зуб рычага должен самозамкнуться на упоре диска.

При вращении шкива с номинальной скоростью усилие, создаваемое пружиной 8, прижимает ролик к восьмигранному диску, в результате чего он перекатывается по поверхности диска, совершая вынужденные кинематические колебания относительно оси рычага. Для регулировки усилия пружины (за счет изменения ее длины) предусмотрены отверстия 9.

При аварийном превышении скорости ролик 4 из-за действия сил инерции отрывается от поверхности диска, и зуб 6 сцепляется с упором 7, останавливая шкив 2. Шкив за счет силы трения останавливает канат 1, который приводит в действие механизм включения ловителей.

Рис. 1. Расчетная схема ограничителя скорости с инерционным роликом: 1 — канат; 2 — шкив; 3 — восьмигранный диск; 4 — ролик; 5 — рычаг; 6 — зуб рычага; 7 — упор; 8 — пружина; 9 — отверстия пружины; 10 — опорная рама; P_P и $P_{НР}$ — сила тяжести ролика и неуравновешенной части рычага, соответственно, Н; $F_{ИР}$ — сила инерции ролика, Н; $F_{ДП}$ — усилие, создаваемое за счет упругой деформации пружины, Н; l_P , $l_{НР}$, $l_{ИР}$, $l_{ДП}$ — плечи силы тяжести ролика, силы тяжести неуравновешенной части рычага, силы инерции ролика и усилия пружины, соответственно, м; $C_{НР}$ — центр тяжести неуравновешенной части рычага (показан условно); r_1 и r_2 — максимальное и минимальное значение радиуса положения ролика на поверхности восьмигранного диска, соответственно, м; $l_{П}$ и $\Delta_{П}$ — длина пружины и ее упругая деформация, соответственно, м

Уравнение равновесия рычага в любой момент времени имеет вид:

$$\sum M_O = 0 : \pm F_{ДП} l_{ДП} \pm P_P l_P \pm F_{ИР} l_{ИР} \pm P_{НР} l_{НР} = 0. \quad (1)$$

Знак «+» или «-» определяется конструкцией рычажной системы, для рассматриваемого ограничителя скорости:

$$F_{ДП} l_{ДП} + P_P l_P - F_{ИР} l_{ИР} - P_{НР} l_{НР} = 0, \quad (2)$$

где $F_{ДП} = \Delta_{П} C_{П}$, Н; $C_{П}$ — жесткость пружины, Н/м; $P_P = m_P g$, Н; $P_{НР} = m_{НР} g$, Н; m_P и $m_{НР}$ — масса ролика и неуравновешенной части рычага соответственно, кг; $g \approx 9,81$ — ускорение свободного падения, м/с²; $F_{ИР} = m_P a_P$, Н; a_P — ускорение ролика, м/с².

На основе несложного анализа выражений (1) и (2) становится понятно, что методика расчета ограничителя скорости должна включать следующие этапы:

- расчет параметров рычажной системы;
- расчет параметров пружины;
- расчет параметров диска.

Расчеты параметров рычажной системы и пружины определяются конструктивными решениями, принятыми при проектировании ограничителя скорости. Сами же расчеты не представляют трудности и здесь не рассматриваются.

Рассмотрим подробнее расчет параметров диска.

Поверхность диска представляет собой синусоиду, расположенную по окружности. В этом случае ролик совершает сложное движение: гармонические колебания по синусоидальному закону с одновременным перемещением по поверхности окружности. Тогда уравнение пути, который проходит ролик, может быть записано как

$$S_p = f(t) = A \sin\left(\frac{2VD_p n_\Gamma}{D_d^2} t\right), \quad (3)$$

где $A = (r_2 - r_1)/2$, — амплитуда колебаний ролика, м; V — скорость движения лифта, м/с; D_p — диаметр рабочего ручья шкива, м; $D_d = r_1 + r_2$ — диаметр образующей окружности диска, м; n_Γ — число граней диска.

Расчет по формуле (3) следует проводить для номинальной и аварийной (в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53780—2010) скоростей лифта V .

Диаметр рабочего ручья шкива согласно требованиям ГОСТ Р 53780-2010 принимают $D_p \geq 25d_k$ (для лифтов с $V \leq 1,6$ м/с) и $D_p \geq 30d_k$ (для остальных лифтов), где d_k — диаметр каната ограничителя скорости, м.

Диаметр образующей окружности диска D_d принимают исходя из конструктивных и технологических соображений. В конструкциях, рассмотренных в [4, 5, 7], а также в конструкции ограничителя скорости Schindler, mod. 201, значения D_d имеют весьма значительный разброс — $D_d \approx (0,5 \dots 1,2) D_p$.

При $D_p \approx D_d$ и $n_\Gamma = 4$ получаем частный случай уравнения (3), изложенный в [5]:

$$S_p = A \sin(4\omega t), \quad (4)$$

где $\omega = 2V/D_p$ — угловая скорость диска, c^{-1} .

Обозначим для удобства $\gamma = \frac{2VD_p}{D_d^2}$, тогда скорость и ускорение колебаний ролика будут соответственно равны:

$$V_p = \frac{dS_p}{dt} = A\gamma n_\Gamma \cos(\gamma n_\Gamma t), \text{ м/с}; \quad (5)$$

$$a = \frac{dV}{dt} = \frac{d^2 S}{dt^2} = -A\gamma^2 n^2 \sin(\gamma n t), \quad / . \quad (6)$$

Из уравнений (1), (2) и (6) следует, что важнейшими параметрами, определяемыми при проектировании ограничителя скорости с инерционным роликом, являются параметры профиля диска: диаметр образующей окружности, число граней и амплитуда колебаний ролика на диске.

Построение профиля диска удобно производить с использованием прикладных компьютерных программ, например LabVIEW. Это исключает значительное количество вычислений.

Алгоритм построения профиля диска на ЭВМ следующий:

- задаем входы программы: число граней диска, диаметр образующей окружности и амплитуда колебаний. Число граней диска определяет форму синусоиды. Длина этой синусоиды ограничена длиной окружности, которая будет являться образующей окружностью профиля;
- по известному диаметру образующей окружности определяем ее длину, как $l = 2\pi r_d$, где r_d — радиус образующей окружности;
- по функции $f(\varphi) = A \sin(n_T \varphi / r_d)$ задаем синусоиду, φ — угол точки профиля по окружности в пределах от 0 до 2π ;
- выходом программы является график, изображающий профиль диска в полярных координатах ρ и θ , где $\rho = r_d + f(\varphi)$ и $\theta = \varphi / r_d$.

Пример построения профиля диска приведен на рис. 2.

Рис. 2. Пример построения профиля диска в среде LabVIEW

Приведенные выше соображения позволяют в режиме реального времени изменять профиль диска ограничителя скорости, что в совокупности с выражениями (1)—(6) дает возможность рассчитывать ограничители скорости с инерционным роликом любой конфигурации.

В настоящее время разрабатывается программа, позволяющая в режиме реального времени проектировать ограничители скорости с инерционным роликом, имеющие различные профили диска, конструкцию рычажной системы и параметры пружины, а также варьировать эти параметры.

Библиографический список

1. Лифты / под общ. ред. Д.П. Волкова. М. : Изд-во АСВ, 1999. 479 с.
2. Корнеев Г.К., Коротков М.Г., Моцохейн И.С., Жданов Б.В. Лифты пассажирские и грузовые. М. : Машгиз, 1958. 568 с.

3. Волков Д.П., Ионов А.А., Чутчиков П.И. Атлас конструкций лифтов. М. : Изд-во АСВ, 2003. 156 с.
4. Архангельский Г.Г., Бабичев С.Д., Ваксман М.А., Котельников В.С. Гидравлические лифты / под ред. Г.Г. Архангельского. М. : Изд-во АСВ, 2002. 346 с.
5. Ермишкин В.Г., Нелидов И.К., Коханов К.П. Наладка лифтов. М. : Стройиздат, 1990. 301 с. (ЖКХ. Библиотека работника жилищно-коммунального хозяйства)
6. Чутчиков П.И. Ремонт лифтов. М. : Стройиздат, 1983. 271 с.
7. Полковников В.С., Грузинов Е.В., Лобов Н.А. Монтаж лифтов : 4-е изд., перераб. и доп. М. : Высшая школа, 1981. 279 с. (Профтехобразование)
8. Ермишкин В.Г. Техническое обслуживание лифтов. М. : Недра, 1976. 326 с.
9. Федорова З.М., Лукин И.Ф., Нестеров А.П. Подъемники / под ред. проф. З.М. Федоровой. Киев : Вища школа, 1976. 294 с.
10. Васильев М.И., Бродский М.Г. Монтаж лифтов. М. : Стройиздат, 1975. 225 с.
11. Полковников В.С., Лобов Н.А., Грузинов Е.В., Бродский М.Г. Монтаж и эксплуатация лифтов : 2-е изд., испр. и доп. М. : Высшая школа, 1973. 327 с. (Профтехобразование : Строительные работы)
12. Павлов Н.Г. Лифты и подъемники. Основы конструирования и расчета. М. ; Л. : Машиностроение, 1965. 203 с.
13. Тушмалов В.А. Электрические лифты: устройство и монтаж. М. : Машгиз, 1952. 179 с.
14. Удод Л.Ф. Пассажирские и грузовые подъемники (лифты) : Конструкция и расчет / под ред. А.Б. Гольман. Харьков ; Киев : Гос. науч.-техн. изд-во, 1937. 314 с.
15. Баранов А.П., Голутвин В.А. Подъемники. Тула : ТулГУ, 2004. 150 с.
16. Иоффе И.Я. Высокоскоростные лифты. М. : Стройиздат, 1988. 95 с.
17. Яновски Л. Проектирование механического оборудования лифтов / пер. с англ. И.А. Иноземцевой ; под ред. С.Д. Бабичева. 3-е изд. М. : Изд-во АСВ, 2005. 333 с.

Поступила в редакцию в феврале 2016 г.

Об авторах: **Витчук Павел Владимирович** — кандидат технических наук, доцент кафедры деталей машин и подъемно-транспортного оборудования, **Калужский филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана» (КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)**, 248000, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2, zzzVentor@ya.ru, 8 (4842) 74-05-59;

Мокин Дмитрий Геннадьевич — кандидат технических наук, доцент кафедры деталей машин и подъемно-транспортного оборудования, **Калужский филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана» (КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)**, 248000, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2, ded762@bmail.ru, 8 (4842) 74-05-59.

Для цитирования: *Витчук П.В., Мокин Д.Г. Методика расчета лифтового ограничителя скорости с инерционным роликом // Вестник МГСУ. 2016. № 7. С. 134—141.*

P.V. Vitshuk, D.G. Mokin

METHOD OF CALCULATION OF THE ELEVATOR SPEED LIMITER WITH THE INERTIAL ROLLER

The speed limiter is intended to actuate the safety gear excess of emergency over-speed of the car or the counterweight while moving down. In Russia, the most wide-

spread speed limiters are centrifugal type with a horizontal axis of rotation. Their design and methods of calculation are well known and widely presented in the literature. In foreign practice the most often used speed limiters include inertial roller in their construction. In the domestic literature there is almost no description of such structures and principles of their calculation.

In the given article the author describes the calculation and structural scheme of the speed limiter with inertial roller and an octagonal disk of Schindler Co. Equilibrium equation actuating lever relative to the axis of rotation is compiled. On the basis of the analysis of the equilibrium equation the basic principles and constituent elements of the calculation of the elevator speed limiter with inertial roller are discovered. These are: calculation of the lever system, calculation of the spring, calculation of the disk. The dependences of the path, speed and acceleration of the roller in time are given. It is convenient to design the disk surface with the use of computer applications. This eliminates a significant amount of computation. The design algorithm for disk surface on a computer is given. The example of design of disk surface using this algorithm is offered.

The proposed considerations on building the speed limiter's disk surface allow changing its profile in real time. This, together with the equilibrium equation allow designing speed limiters with an inertial roller in any possible configuration.

Key words: inertial roller, elevator, safety gear, speed limiter, design, calculation, calculation and structural scheme

References

1. Volkov D.P., editor. *Lifty* [Elevators]. Moscow, ASV Publ., 1999, 479 p. (In Russian)
2. Korneev G.K., Korotov M.G., Motsokheyev I.S., Zhdanov B.V. *Lifty passazhirskie i gruzovye* [Passenger and Service Elevators]. Moscow, Mashgiz Publ., 1958, 568 p. (In Russian)
3. Volkov D.P., Ionov A.A., Chutchnikov P.I. *Atlas konstruktsey liftov* [Lift Design Atlas]. Moscow, ASV Publ., 2003, 156 p. (In Russian)
4. Arkhangel'skiy G.G., Babichev S.D., Vaksman M.A., Kotel'nikov V.S. *Gidravlicheskie lifty* [Hydraulic Lifts]. Moscow, ASV Publ., 2002, 346 p. (In Russian)
5. Ermishkin V.G., Nelidov I.K., Kokhanov K.P. *Naladka liftov* [Lift Adjustment]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1990, 301 p. (ZhKKh. Biblioteka rabotnika zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva [Library of Housing and Utilities Infrastructure Worker]). (In Russian)
6. Chutchnikov P.I. *Remont liftov* [Lift Repair]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1983, 271 p. (In Russian)
7. Polkovnikov V.S., Gruzinov E.V., Lobov N.A. *Montazh liftov* [Lift Assembling]. 4th edition, revised and enlarged. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1981, 279 p. (Proftekhobrazovanie [Professional Technological Education]). (In Russian)
8. Ermishkin V.G. *Tekhnicheskoe obsluzhivanie liftov* [Lift Maintenance]. Moscow, Nedra Publ., 1976, 326 p. (In Russian)
9. Fedorova Z.M., Lukin I.F., Nesterov A.P. *Pod'emniki* [Elevators]. Kiev, Vishcha shkola Publ., 1976, 294 p. (In Russian)
10. Vasil'ev M.I., Brodskiy M.G. *Montazh liftov* [Lift Assembling]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1975, 225 p. (In Russian)
11. Polkovnikov V.S., Lobov N.A., Gruzinov E.V., Brodskiy M.G. *Montazh i ekspluatatsiya liftov* [Lift Assembling and Maintenance]. 2nd edition, revised and enlarged. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1973, 327 p. (Proftekhobrazovanie : Stroitel'nye raboty [Professional Technical Education : Construction Works]). (In Russian)
12. Pavlov N.G. *Lifty i pod'emniki. Osnovy konstruirovaniya i rascheta* [Lifts and Elevators. Basis of Design and Calculation]. Moscow, Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1965, 203 p. (In Russian)
13. Tushmalov V.A. *Elektricheskie lifty: ustroystvo i montazh* [Electric Lifts. Construction and Assembling]. Moscow, Mashgiz Publ., 1952, 179 p. (In Russian)
14. Udod L.F. *Passazhirskie i gruzovye pod'emniki (lifty) : Konstruktsiya i raschet* [Elevators (Lifts) for Passengers and Goods : Structure and Calculation]. Khar'kov, Kiev, Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatel'stvo Publ., 1937, 314 p. (In Russian)
15. Baranov A.P., Golutvin V.A. *Pod'emniki* [Elevators]. Tula, TulGU Publ., 2004, 150 p. (In Russian)

16. Ioffe I.Ya. *Vysokoskorostnye lifty* [High Speed Lifts]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1988, 95 p. (In Russian)
17. Janovsky L. *Elevator Mechanical Design*. Ellis Horwood Ltd; 2 Sub edition, 1993, 250 p.

About the authors: **Vitchuk Pavel Vladimirovich** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Machine Components and Lifting and Transporting Equipment, **Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University (Kaluga branch of BMSTU)**, 2 Bazhenova str., Kaluga, 248000, Russian Federation; zzzVentor@ya.ru; +7 (4842) 74-05-59;

Mokin Dmitriy Gennad'evich — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Machine Components and Lifting and Transporting Equipment, **Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University (Kaluga branch of BMSTU)**, 2 Bazhenova str., Kaluga, 248000, Russian Federation; ded762@bmail.ru; +7 (4842) 74-05-59.

For citation: Vitchuk P.V., Mokin D.G. Metodika rascheta liftovogo ogranichitelya skorosti s inertsiionnym rolikom [Method of Calculation of the Elevator Speed Limiter with the Inertial Roller]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2016, no. 7, pp. 134—141. (In Russian)