

УДК 629.11.01

**Е. Н. Чирта¹, М. Э. Подымако², В. Н. Клочков³,
И. В. Лесковец⁴**, кандидат технических наук, доцент

^{1,2,3}Открытое акционерное общество «Могилевский завод лифтового машиностроения», пр-т Мира, 42,
212798 Могилев, Республика Беларусь

⁴Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», пр-т Мира, 43, 212000 Могилев, Республика Беларусь

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА БЕЗОПАСНОСТИ ЛИФТОВ ПРОИЗВОДСТВА ОАО «МОГИЛЕВЛИФТМАШ»: ПРИНЦИПЫ, ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ, НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

В статье рассмотрена механическая часть электромеханических устройств безопасности лифта: ловителя, ограничителя скорости, буфера, замка двери шахты. Описаны предъявляемые к ним требования безопасности, методы испытаний и измерений на специальных стендах при производстве. Описана область применения узлов безопасности в зависимости от назначения и характеристик лифта. Рассмотрены актуальные вопросы по модернизации и совершенствованию существующих устройств безопасности.

Ключевые слова: лифт; узел безопасности; ловитель; ограничитель скорости; буфер; замок двери шахты.
Рис. 7. Библиогр.: 8 назв.

**E. N. Chirta¹, M. E. Podymako², V. N. Klochkov³,
I. V. Leskovets⁴**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor

^{1,2,3}Joint Stock Company "Mogilev Elevator Engineering Plant", 42 Mira Ave, 212798 Mogilev, the Republic of Belarus

⁴Inter-state Educational Institution of Higher Education "Belarusian-Russian University", 43 Mira Ave.,
212000 Mogilev, the Republic of Belarus

ELECTROMECHANICAL ELEVATOR SAFETY DEVICES MANUFACTURED BY JSC MOGILEVLIFTMASH: PRINCIPLES, DESIGN FEATURES, AREAS OF IMPROVEMENT

The article considers the mechanical part of the electromechanical elevator safety devices: safety catcher, speed limiter, buffer, shaft door lock. The safety requirements imposed on them, test and measurements methods on special stands during the production have been described. The scope of safety units' application depending on the purpose and characteristics of the elevator has been described. The current issues of modernization and improvement of existing safety devices have been considered.

Key words: elevator; safety components; safety catcher; speed limiter; buffer; elevator shaft door lock.
Fig. 7. Ref.: 8 titles.

Введение. Для обеспечения мобильности лифты все чаще используются не только в жилых и офисных зданиях, но и в торговых центрах, метрополитенах. Для удобного и безопасного передвижения пассажиров конструкция лифта оборудована электрическими и электромеханическими устройствами безопасности. К электрическим устройствам безопасности относятся устройства контроля перехода кабиной крайних этажных площадок, устройства контроля закрытия дверей шахты и кабины, устройства запираания автоматического замка дверей шахты и др. К электромеханическим устройствам безопасности относятся ловитель, буфер, замок двери шахты, ограничитель скорости. Электрические устройства безопасности работают совместно с электромеханическими, подавая сигнал в шкаф управления. Подобная совместная работа обеспечивает надежную защиту при аварийных ситуациях.

Материалы и методы исследования. ОАО «Могилевлифтмаш» производит пассажирские, больничные, грузовые, а также нестандартные лифты. Для надежной и комфортной

работы каждый лифт оснащен устройствами безопасности, которые обеспечивают сохранность людей и грузов в кабине при возникновении нестандартной аварийной ситуации.

Устройства безопасности или их сочетания предназначены для защиты кабины лифта от свободного падения, превышения номинальной скорости вниз или вверх, непреднамеренного движения с открытыми дверями, сползания кабины с уровня посадочной площадки [1].

Электромеханические устройства безопасности включают в себя механическую и электрическую составляющие, но в статье рассмотрим подробнее механическую часть и условно назовем ее механическим устройством безопасности.

К механическим устройствам безопасности лифта относятся: буфер, замок двери шахты, ловители, ограничитель скорости.

Буфером (рисунок 1) называется устройство, предназначенное для ограничения величины замедления движущейся кабины, противовеса в целях снижения опасности получения травм и поломки оборудования при переходе кабиной, противовесом крайнего рабочего положения [2]. В зависимости от номинальной скорости кабины могут быть энергонакопительного или энергорассеивающего типа. Как правило, устанавливаются в прямке шахты.

Полиуретановый буфер обладает маслостойкостью и рассеивающей способностью, что снижает амплитуду ускорения обратного хода кабины после посадки на буфер. Пружинный буфер практически без потерь преобразует энергию движения кабины в потенциальную энергию, высвобождение которой сопровождается обратным ходом. Ускорение хода практически равно величине замедления посадки на буфер [3]. Конструкция гидравлического буфера обеспечивает постоянство тормозной силы за счет дросселирования масла и ускорения замедления, равного $9,81 \text{ м/с}$, на всем пути замедления. После снятия кабины с гидравлического буфера возвратная пружина восстанавливает исходное верхнее положение плунжера, концевой выключатель контролирует возврат плунжера в исходное положение.

Буфера энергонакопительного типа с линейными и нелинейными характеристиками применяются на лифтах с номинальной скоростью не более 1 м/с . Буфера энергорассеивающего типа могут применяться при любой величине номинальной скорости кабины, противовеса, а также при повышенной грузоподъемности лифта.

Буфера с линейными характеристиками должны иметь полный ход буфера не менее 65 мм .

Основными требованиями безопасности буферов являются:

а) при посадке на буфер среднее значение замедления кабины с номинальным грузом, движущейся со скоростью, равной 115% номинальной, или противовеса при свободном падении не должно превышать $9,81 \text{ м/с}^2$;

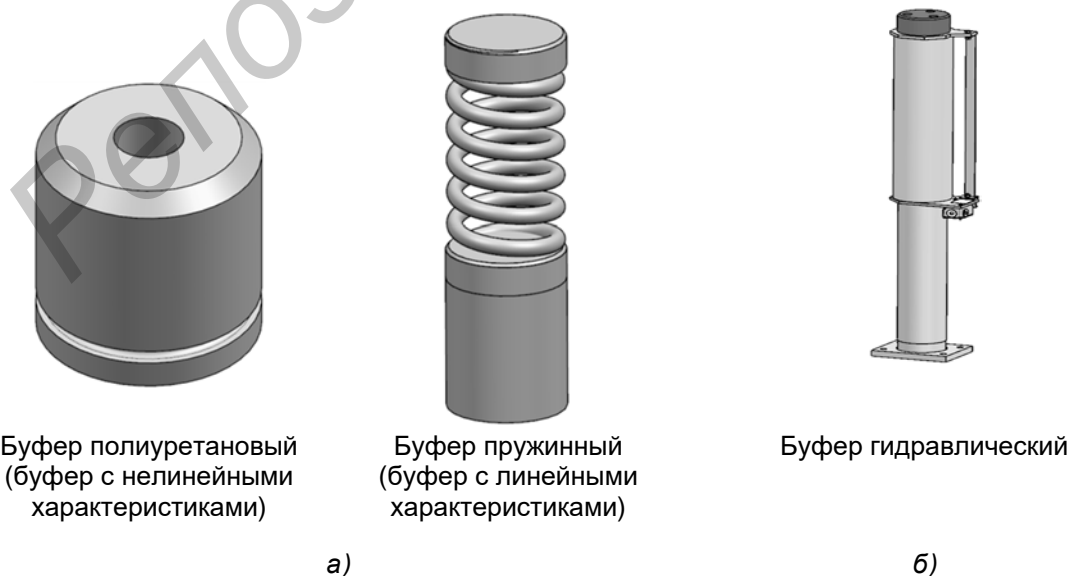


Рисунок 1. — Общий вид буфера: а — энергонакопительный тип; б — энергорассеивающий тип

б) время действия замедления, превышающего 25 м / с^2 , должно быть не более $0,04 \text{ с}$;
 в) должна отсутствовать остаточная деформация элементов буфера после срабатывания.
 Буфера энергонакопительного типа с нелинейными характеристиками должны удовлетворять требованиям:

- а) скорость возврата буфера не должна превышать $1,0 \text{ м / с}$;
- б) максимальное ускорение не должно превышать 60 м / с^2 .

Буфера энергорассеивающего типа должны удовлетворять следующим условиям:

- а) после снятия нагрузки буфер должен автоматически возвращаться в исходное положение;
- б) должна быть предусмотрена возможность контроля уровня жидкости в гидравлическом буфере [1].

Замок двери шахты — устройство безопасности, предназначенное для запираания двери шахты при отсутствии кабины на этаже (рисунок 2) [2].

При нормальной работе должна быть исключена возможность открывания двери шахты снаружи шахты, пока кабина не остановилась в зоне отпирания двери шахты. Протяженность зоны отпирания двери шахты должна быть не более $0,2 \text{ м}$ выше и ниже уровня этажа. Движение кабины должно быть возможным только после перемещения запирающего элемента автоматического замка двери шахты не менее чем на 7 мм в ответную часть замка. Автоматические замки должны оставаться в запертом состоянии под действием силы тяжести в случае прекращения функционирования постоянных магнитов и пружин [1].

Ловитель — устройство, предназначенное для остановки и удержания кабины на направляющих при превышении установленной величины скорости или при обрыве тяговых элементов (рисунок 3) [2].

Пара ловителей обычно устанавливается в нижней части кабины и приводится в действие одновременно с помощью рычажного механизма (механизма синхронизации).

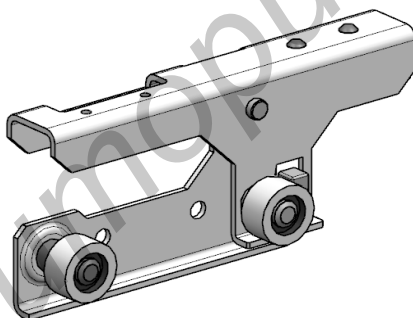


Рисунок 2. — Замок двери шахты

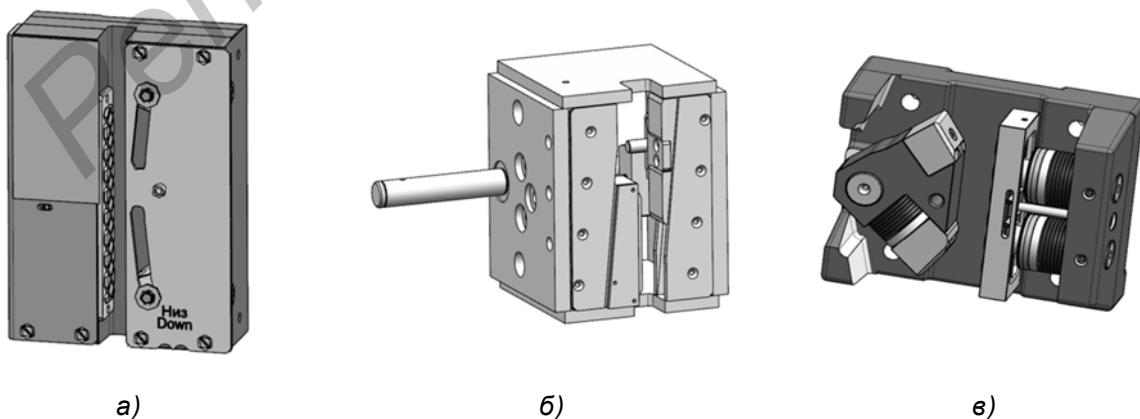


Рисунок 3. — Общий вид ловителя: а — роликовый; б — клиновой; в — эксцентриковый

Рабочая поверхность тормозящего элемента конструкции ловителя может быть изготовлена из чугуна или инструментальной стали, а также оснащена насечкой. Применение насечки обеспечивает увеличение приведенного значения коэффициента трения за счет работы пластического разрушения поверхностей направляющей. Одним из современных ловителей плавного торможения, применяемых на предприятии, является роликовый ловитель ЛП2Р, принцип действия которого и основные параметры силового взаимодействия рассмотрены в [4; 5].

Основные требования безопасности к устройству ловителей:

а) ловители должны останавливать и удерживать на направляющих (даже в случае обрыва тяговых канатов или разрушения других элементов подвески) движущуюся вниз кабину с нагрузкой в диапазоне от 0 до 110 % от номинальной грузоподъемности (противовеса или уравновешивающего устройства кабины) при их включении от действия ограничителя скорости на скорости его срабатывания или от обрыва или слабину тяговых канатов;

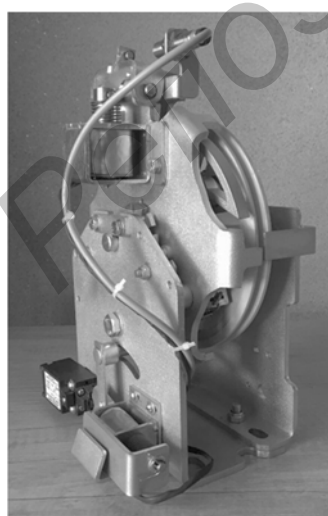
б) среднее замедление свободно падающей кабины с грузом, масса которого равна номинальной грузоподъемности, противовеса или уравновешивающего устройства кабины при посадке на ловители плавного торможения должно быть не менее 1,9 и не более 9,81 м / с²;

в) ловители должны автоматически принимать исходное рабочее положение после перемещения в направлении, соответствующем снятию ловителей, кабины, противовеса или уравновешивающего устройства кабины;

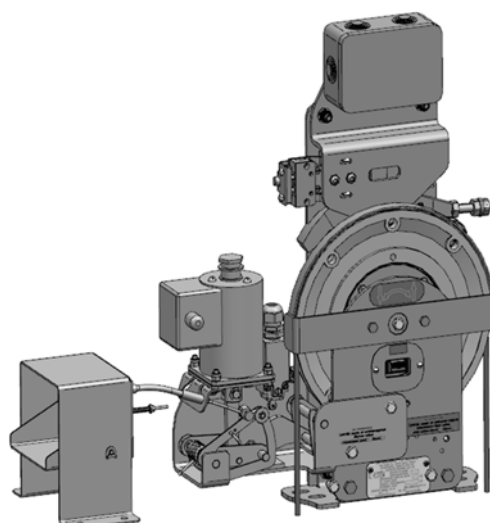
г) снятие кабины с ловителей должно быть возможно при любой загрузке кабины, вплоть до загрузки, на 10 % превышающей номинальную грузоподъемность [1].

Ограничитель скорости — устройство, предназначенное для приведения в действие механизма ловителей при превышении установленной величины скорости движения кабины, противовеса (рисунок 4) [2]. Располагается в машинном помещении либо в шахте. Перспективными разработками ОАО «Могилевлифтмаш» в направлении повышения надёжности, снижения затрат на производство с оптимизацией конструкции является ограничитель ПБВ1010Г.07.00.000 [6] и ПБВ1010Г.17.00.000 [7].

Скорость срабатывания ограничителя скорости должна находиться в следующих диапазонах: для ловителей мгновенного действия и ловителей плавного торможения при нормальной скорости — не более 0,63 м / с — от 1,15v до 0,8 м / с, где v — номинальная скорость кабины, м / с; для ловителей плавного торможения при номинальной скорости — не более 1 м / с — от 1,15v до 1,5 м / с; для ловителей плавного торможения при номинальных скоростях — более 1,0 м / с — от 1,15v до 1,25v + 0,25 / v м / с [1].



а)



б)

Рисунок 4. — Общий вид ограничителя скорости: а — центробежного типа двустороннего действия; б — маятникового типа двустороннего действия

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

Результаты исследования и их обсуждение. Процесс проектирования должен завершаться достижением целевых показателей (описаны выше), для чего необходимо решить ряд задач, для которых необходимы исходные данные, зачастую отсутствующие. К таким данным применительно к устройствам безопасности можно отнести: коэффициенты трения качения и скольжения, модули упругости материалов (ввиду точности изготовления некоторых деталей устройств безопасности нельзя использовать справочные данные), пределы текучести материалов и др. Вследствие этого эти исходные данные требуют экспериментального, расчетного или комбинированного подхода к их определению. Для ловителей определяются коэффициенты трения контактирующих с направляющими элементов с использованием специального приспособления и натурной тензометрии; для ограничителей скорости пересчитываются коэффициенты трения с применением системы контроля натяжения канатов Henning MSM12v3 и формулы Эйлера для расчета величины силы трения для гибкой нити о неподвижный цилиндр; для гидравлических буферов подбираются параметры путем моделирования гидрогазодинамической системы с применением численных методов.

Ни одно устройство безопасности не делается на стадии проектирования «под ключ», это всегда итерационный процесс. Содержание расчетно-экспериментальных исследований осуществляется с использованием методов планирования экспериментов, которые позволяют получить описательные регрессионные модели, говоря современным языком, ROM-модели, выполнением минимального числа экспериментов, т. е. оптимизировать процесс по затратам времени и средств.

Безопасность применения и надежность работы — основополагающие требования, на которых базируется проектирование, изготовление и эксплуатация лифтового оборудования. В связи с этим устройства безопасности должны отвечать конструктивно-технологическим принципам: выполнять возлагаемые функции при эксплуатации, иметь простоту изготовления, сборки и монтажа, быть долговечными и надежными на всем сроке их службы, а также гарантировать безотказную работу. Помимо вышеперечисленных принципов, узлы безопасности должны быть экономичными в производстве и изготовлении, ремонтпригодными и доступными для технического обслуживания.

Устройства безопасности, изготавливаемые на ОАО «Могилевлифтмаш», отвечают всем заявленным требованиям, а также соответствуют современным тенденциям в лифтостроении. Так, например, конструкция ловителя сводит к минимуму пригоночные работы при сборке благодаря выполнению заданной точности конструкции при производстве.

Для выполнения требований безопасности, указанных в ТР ТС 011/2011 и ГОСТ 33984.1-2016, узлы безопасности должны обязательно пройти испытания и измерения согласно ГОСТ 33984.3-2017 [8], необходимые для подтверждения соответствия в форме сертификации.

На ОАО «Могилевлифтмаш» существует испытательный центр, где проводятся испытания устройств безопасности и проверяется их работа в соответствии с областью аккредитации. В испытательном центре расположены специальные стенды, которые позволяют испытать узлы безопасности и измерить параметры, рассчитанные теоретически аналитическими и численными методами, провести приемо-сдаточные испытания, сертификационные испытания и испытания работоспособности устройств безопасности.

Так, для проведения испытаний ловителей используется специальный стенд, на котором измеряется усилие и ускорение торможения, создаваемое ловителем в процессе работы. По окончании проведения испытаний на испытательном стенде отображается график, показывающий максимальное и минимальное значения усилия торможения, а также определяется величина среднего ускорения замедления и сравнения его с нормативным.

При проведении испытаний замка дверей шахты проверяется функционирование механических и электрических элементов замка, их прочность и долговечность в соответствующих условиях [8], измеряются величины вхождения запирающего элемента в ответную часть в момент срабатывания электрического устройства безопасности.

Испытания ограничителя скорости проходят на специальном стенде, на котором имеется возможность управления ускорением набора скорости, а также осуществляется определение скорости срабатывания ограничителя скорости и усилия, которое может быть создано при срабатывании ограничителя скорости для включения механизма ловителей.

Для испытания буферов используется стенд, на котором проводится измерение величины максимального ускорения груза, проверка способности буфера улавливать свободно падающий груз [8].

Помимо требований, предъявляемых [8], проводятся испытания основных показателей устройств безопасности, позволяющие в дальнейшем совершенствовать их конструкцию.

Для повышения конкурентоспособности, достижения оптимальных трудовых и материальных затрат, сокращения времени на производство, в том числе техническое обслуживание, монтаж, ремонт, проектирование и разработка устройств безопасности должны постоянно совершенствоваться.

В связи с этим ОАО «Могилевлифтмаш» привлекает к сотрудничеству сторонние организации для решения некоторых проблем, возникающих при модернизации устройств безопасности. Так, для развития ресурсной механики, помощи при расчетах на усталость и для обмена опытом по решению практических задач в области проектирования конструкций лифта с заданной долговечностью было привлечено государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси». Также ОАО «Могилевлифтмаш» сотрудничает с учреждением образования «Белорусский государственный технологический университет» в направлении развития тяговых органов лифта в качестве альтернативной замены тяговых канатов.

На предприятии прорабатывается вопрос о влиянии формы канавки шкива ограничителя скорости на требуемую силу сцепления с канатом (рисунок 5). Задачей является управление коэффициентом трения между тяговым канатом и поверхностью ручья шкива в зависимости от грузоподъемности лифта.

В устройстве ловителя изучается вопрос о контроле и снижении коэффициента трения между роликом (колодкой) и направляющей, а также снижении повреждения поверхности направляющей ловителем в момент самозатягивания.

Для совершенствования конструкции замка двери шахты прорабатывается вопрос о замене существующих пластин груза замка на пластины из металла, который пойдет в отход (рисунок 6). Это позволит увеличить экономию металла и снизить себестоимость при изготовлении замка двери шахты. Также прорабатывается проектирование конструкции замка на распашные двери лифта.

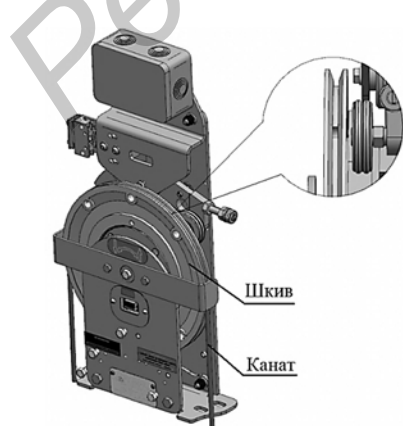


Рисунок 5. — Форма существующей тяговой канавки

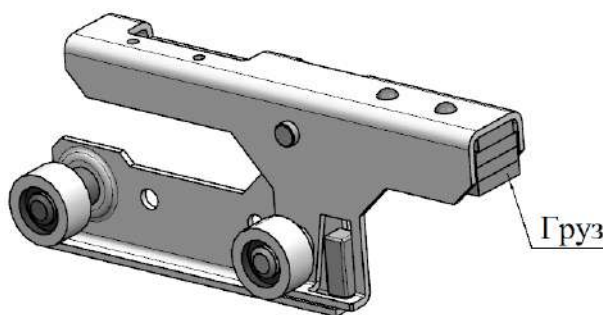


Рисунок 6. — Замок двери шахты лифта

При проектировании буферов помимо требований ГОСТ учитываются и такие факторы, как уменьшение глубины приямка, уменьшение массы кабины, увеличение скорости движения кабины, уменьшение рабочего хода плунжера буфера, обеспечивающего замедление кабины в момент аварийной ситуации. Гидравлический буфер (рисунок 7) является достаточно сложным техническим устройством. На текущий момент вопросы, требующие рассмотрения и решения, отсутствуют. На ОАО «Могилевлифтмаш» разработан и спроектирован гидравлический буфер для лифтов со скоростью движения 2,5 м/с, который на данный момент проходит необходимые испытания.

В целях снижения чувствительности к производственным и эксплуатационным условиям, повышения управляемости процессом создания, снижения стоимости с сохранением надежности на ОАО «Могилевлифтмаш» в настоящее время более подробно рассматриваются вопросы совершенствования конструкций при проектировании ловителей и ограничителя скорости лифта. К наиболее значимым относятся:

а) для ловителей:

- разработка ловителя с максимальным ходом упругого элемента, с постоянной силой торможения без увеличения габаритов для снижения чувствительности к состоянию направляющих, деформативности элементов самого ловителя, величины внедрения насечки при ее наличии в направляющую, максимизации зазоров между элементами ловителя и направляющими;
- использование в ловителе конструкционных сталей вместо инструментальных;
- обеспечение более легкого съема кабины или противовеса с ловителей;
- реализация динамических испытаний ловителей на стендах, имитирующих проведение динамических испытаний в лифте;
- формирование зависимости коэффициентов сопротивления от условий работы как функции от улавливаемой массы и скорости;
- разработка математической модели для термомеханического расчета ловителя;

б) для ограничителя скорости:

- разработка регрессионных расчетных моделей (ROM-модели), описывающих влияние материалов, обработки их поверхности, твердости, формы тяговой канавки на усилие протягивания каната;
- выявление зависимости износа канавки от числа срабатываний и его влияния на усилие протягивания;
- разработка математической модели взаимодействия каната и канавки шкива ограничителя скорости;



Рисунок 7. — Гидравлический буфер

- разработка методики проектирования ограничителей скорости;
- исследование работы ограничителей скорости на скоростях 2,5 м / с и выше.

Шагом к совершенствованию методической и аппаратной частей процесса испытаний можно считать испытания устройств безопасности и других элементов лифта «на земле», т. е. без установки их в действующий лифт. Это позволяет:

- задействовать персонал, не имеющий доступа в шахту, т. е. повысить число участников процесса и его производительность;
- обеспечить большую доступность к испытываемому объекту;
- реализовать большую универсальность за счет отсутствия ограничений, накладываемых шахтой;
- реализовать форсирование испытаний, что сложно сделать в составе лифта ввиду ограничений, накладываемых характеристиками узлов, являющихся частью лифта, но не объектом испытаний;
- главным, на наш взгляд, преимуществом испытаний «на земле», является необходимость повышения уровня собственных знаний и компетенций для организации подобных испытаний ввиду требований к непротиворечивой трактовке результатов и переноса их на работу узла в составе лифта. Ведь отделение части от целого требует досконального понимания особенностей работы этой части в составе целого и ее неискажение. Как отмечалось ранее, это достигается применением расчётно-экспериментальных подходов, а также проведением направленных экспериментов для определения требуемых параметров.

Заключение. Подробно описаны электромеханические устройства безопасности лифта, предъявляемые к ним требования, а также задачи процесса проектирования для совершенствования имеющихся устройств безопасности. Рассмотрены подходы к решению вопросов модернизации устройств безопасности на ОАО «Могилевлифтмаш», описаны методы проведения испытаний на специальных стендах предприятия, которые позволяют измерить основные параметры, рассчитанные теоретически аналитическими и численными методами, а также показатели, позволяющие в дальнейшем усовершенствовать конструкцию устройств безопасности. В статье обозначены наиболее значимые для ОАО «Могилевлифтмаш» в настоящее время задачи совершенствования конструкций при проектировании ловителя и ограничителя скорости.

Список цитируемых источников

1. Лифты. Общие требования безопасности к устройству и установке. Лифты для транспортирования людей или людей и грузов : ГОСТ 33984.1-2016 (EN 81-20:2014) ; введ. 01.11.2018. — М. : Стандартинформ, 2017.
2. Лифты. Термины и определения : ГОСТ 33605-2015 ; введ. 01.01.2017. — М. : Стандартинформ, 2019.
3. *Архангельский, Г. Г.* Гидравлические лифты: конструкция, монтаж и обслуживание : учеб. пособие / Г. Г. Архангельский ; М-во образования и науки Рос. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т». — М. : МГСУ, 2013. — 272 с.
4. Лифты : учеб. для вузов / под общ. ред. Д. П. Волкова. — М. : АСВ, 1999. — 480 с. : ил.
5. *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. — DOI 10.53078/20778481_2021_4_45.
6. Выбор конструкции детали как определяющий фактор технологичности и себестоимости ее изготовления на примере деталей ограничителя скорости лифта, получаемых лазерной резкой вместо их отливки с последующей механической обработкой / Т. В. Лапцевич, А. В. Куцепенко, М. Э. Подымако, М. В. Соболев // Вестник Белорусско-Российского университета. — 2022. — № 3 (76). — С. 52—59. — DOI 10.53078/20778481_2022_3_52.
7. Разработка центробежного двухстороннего ограничителя скорости лифта и оптимизация его выходных характеристик на основании анализа влияния сил трения в звеньях механизма / А. В. Куцепенко, М. Э. Подымако, К. Н. Князев [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения. — 2021. — Т. 10. — С. 107—115.
8. Лифты. Правила и методы исследований (испытаний) и измерений при сертификации устройств безопасности лифтов. Правила отбора образцов : ГОСТ 33984.3-2017 (EN 81-50:2014) ; введ. 01.11.2018. — М. : Стандартинформ, 2017.

Поступила в редакцию 25.09.2024.