

DOI: 10.53078/20778481_2022_3_52

УДК 621.876:621.9

Т. В. Лапцевич, А. В. Куцепенко, М. Э. Подымако, М. В. Соболев

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

T. V. Laptsevich, A. V. Kutsepolenko, M. E. Podymako, M. V. Sobolev

PART DESIGN AS A DETERMINING FACTOR OF ITS MANUFACTURABILITY AND PRODUCTION COST EXEMPLIFIED BY ELEVATOR SPEED LIMITER COMPONENTS PRODUCED BY LASER CUTTING INSTEAD OF CASTING WITH SUBSEQUENT MACHINING

Аннотация

В статье рассмотрено решение прикладной задачи: снижение себестоимости узла безопасности лифта. Предложено использование лазерной выкройки вместо механической обработки литых заготовок как наиболее трудоемких элементов ограничителя скорости лифта. Испытания опытного образца ограничителя скорости подтвердили выполнение деталями и самим ограничителем скорости их основного функционального назначения. Указано на значимость высокой профессиональной подготовки конструкторских кадров и комплексный подход в принятии рационального конструкторского решения при обязательном условии максимального взаимодействия производственных служб предприятия с целью получения изделия с минимально возможными затратами на его изготовление.

Ключевые слова:

ограничитель скорости лифта, рациональный выбор заготовок, трудоемкость и себестоимость изготовления детали, экономическая целесообразность, функционально-стоимостной анализ, получение заготовок деталей методом резания листового материала, лазерная резка.

Для цитирования:

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.

Abstract

The article deals with the solution of an applied problem – reducing production cost of an elevator safety unit. The use of laser cutting instead of machining cast blanks to manufacture the most labor-intensive elements of the elevator speed limiter was proposed and implemented. Tests of a prototype speed limiter confirmed that both the elements and the speed limiter itself fulfill their main functional purpose. The importance of highly professional training of design personnel is indicated, as well as the significance of an integrated approach to making a rational design decision with the obligatory maximum interaction between production units of the enterprise in order to manufacture a product with the lowest possible manufacturing costs.

Keywords:

elevator speed limiter, rational choice of blanks, labor intensity and cost of part manufacturing, economic feasibility, functional cost analysis, producing parts by cutting sheet material, laser cutting.

For citation:

Part design as a determining factor of its manufacturability and production cost exemplified by elevator speed limiter components produced by laser cutting instead of casting with subsequent machining / T. V. Laptsevich, A. V. Kutsepoleiko, M. E. Podymako, M. V. Sobolev // The Belarusian-Russian university herald. – 2022. – № 3 (76). – P. 52–59.

Введение

Современная промышленность располагает большим количеством способов изготовления заготовок [1, 2], обеспечивающих получение детали с заданными конструктором эксплуатационными характеристиками, соответствующими ее функциональному назначению.

Как правило, метод изготовления детали выбирается технологом в зависимости от имеющегося на предприятии оборудования и того, каких параметров необходимо достичь для получения требуемых эксплуатационных характеристик. Основными параметрами являются точность выполнения размеров детали, ее однородность и равнопрочность, а также качество рабочих поверхностей.

Рационально выбранная заготовка детали позволяет обеспечить требуемое (необходимое) качество детали, а также уменьшить припуски (минимизировать) на ее последующую механическую обработку или вообще ее исключить, что дает возможность снизить трудоемкость и в конечном счете себестоимость изготовления детали. Однако технолог действует в рамках имеющегося конструктивного решения, которое ограничивает его возможности.

Существенное повышение технологичности детали становится возможным при изменении конструкции детали с обеспечением выполнения ее функционального назначения, что невозможно без взаимодействия конструктора и технолога. Также при решении задачи должны быть задействованы и экономические службы предприятия для обоснования выбранного метода с экономической точки зрения среди нескольких альтернативных вариантов. То есть принятие решения по

конструкции изделия должно происходить при условии максимального взаимодействия производственных служб предприятия с целью получения изделия с минимально возможными затратами на его изготовление.

Основная часть

В рассматриваемом случае объектом взаимодействия инженерно-технических служб предприятия при выполнении задачи по снижению затрат на изготовление и в конечном счете себестоимости изделия является серийно изготавливаемый на ОАО «Могилевлифтмаш» узел безопасности – ограничитель скорости кабины лифта маятникового типа [3].

Ограничитель скорости лифта представляет собой узел безопасности [4], который должен обладать безусловной надежностью и соответствовать требованиям технического регламента Таможенного союза ТР ТС 011/2011 и ГОСТ 33984.1–2016 (EN 81–20:2014).

Ограничитель скорости, приводящий в действие ловители, должен срабатывать при превышении номинальной скорости движения лифта. Скорость срабатывания ограничителя скорости должна находиться в следующих диапазонах:

а) для ловителей мгновенного действия и ловителей плавного торможения при номинальной скорости не более 0,63 м/с – от $1,15v$ до 0,8 м/с;

б) для ловителей плавного торможения при номинальной скорости не более 1,0 м/с – от $1,15v$ до 1,5 м/с;

в) для ловителей плавного торможения при номинальных скоростях более 1,0 м/с – от $1,15v$ до $1,25v + \frac{0,25}{v}$ м/с, где v – номинальная ско-

рость кабины, м/с.

Следует отметить, что с целью обеспечения высокого технико-экономического уровня создаваемой продукции необходимо уже на стадии разработки конструкции проводить функционально-стоимостной анализ [5] изделия. Целью такого анализа в данном случае явилось выявление путей снижения материальных и трудовых затрат за счет совершенствования конструкции, технологии, организации производства при обеспечении функционального назначения изделия.

Проведенный анализ конструкции ограничителя скорости показал, что деталями с наибольшей себестоимостью и трудоемкостью (рис. 1), составляющими в своей совокупности наибольший удельный вес в стоимости изделия, являются кулачок (1) и коромысло (2), взаимодействие которых определяет принцип работы ограничителя скорости. Конструкции кулачка и коромысла, отраженные в конструкторской документации, определяют литье в качестве классического решения получения их заготовок. При этом суммарная трудоемкость изготовления литых кулачка и коромысла составляет около 35 % трудоемкости изготовления всего ограничителя скорости.

Выбор литья как способа получения таких деталей, как кулачок (1) и коромысло (2), обусловлен главным образом серийностью выпуска этих деталей. Применение литых заготовок, максимально приближенных по форме и геометрическим размерам к готовой детали, позволяет повысить коэффициент использования материала. Кроме того, так как в конструкции имеются полости сложной формы, а также выступы и впадины на боковых наружных и внутренних поверхностях детали, то использование литья представлялось единственно возможным решением.

Однако это требует, помимо токарного оборудования, оснащения про-

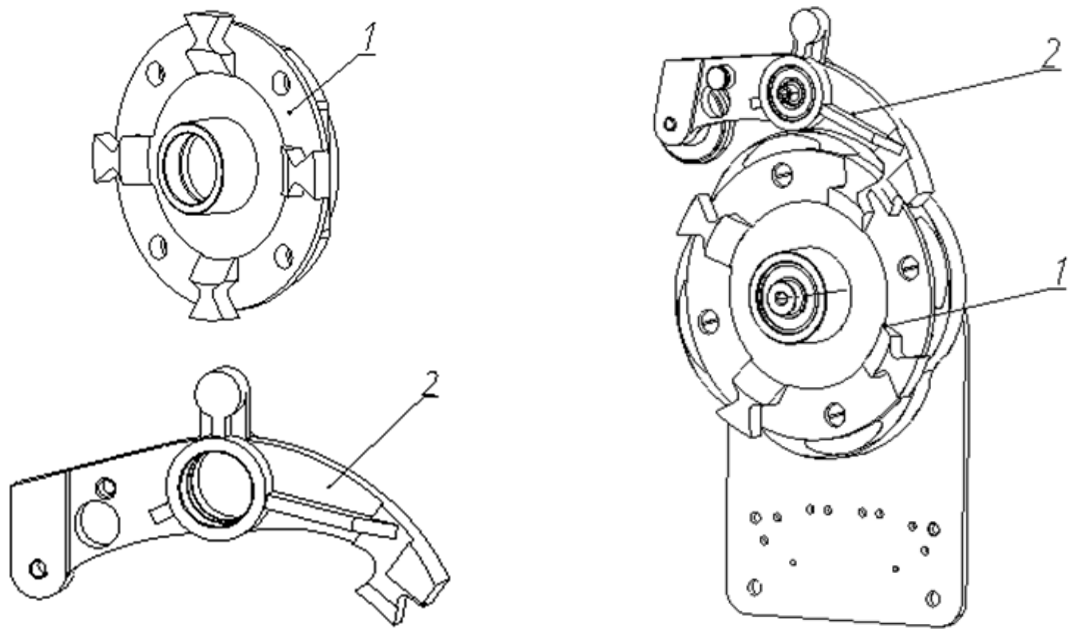
изводства дополнительно литейным оборудованием, узкоспециализированным персоналом, а также обеспечения выполнения требований по охране труда и окружающей среды. При этом процесс литья характеризуется несплошностью тела отливки [6]. В результате даже годные отливки имеют дефекты литейного происхождения (трещины, усадочные раковины, рыхлоты, вскип и т. д.), приводящие к снижению прочностных характеристик деталей. В связи с этим для контроля качества детали, помимо стандартных методов контроля (визуального, измерительного), требуется применение специализированных неразрушающих методов контроля. Увеличение припусков на механическую обработку с целью снятия дефектного слоя и снижения за счет этого уровня брака приводит к дополнительному повышению трудоемкости.

Использование точных способов литья снижает расход материала на изготовление детали и затраты на последующую механическую обработку деталей. Однако эти способы и требуемое оборудование изначально более дорогостоящие.

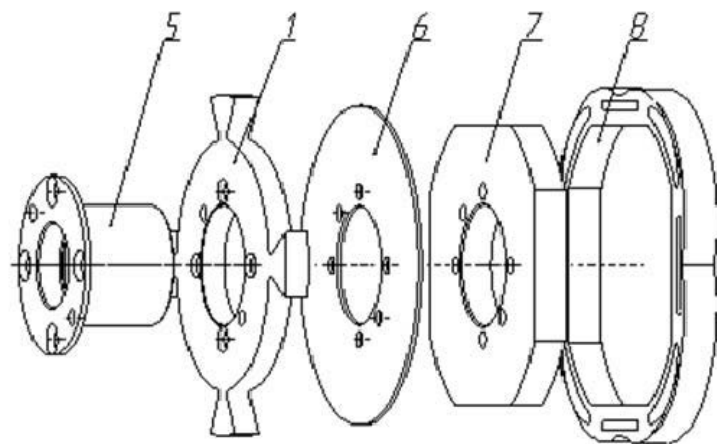
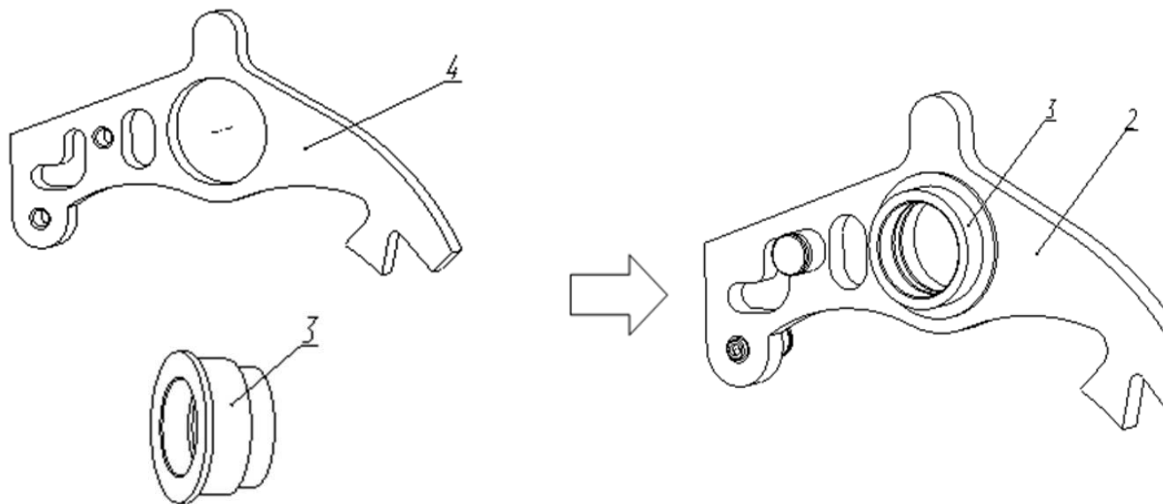
Кроме того, согласно ТКП 496–2013 (02260), процесс литья сопровождается технологически неизбежным отходом (ТНО).

Штамповое производство характеризуется дорогостоящей оснасткой и оборудованием, при этом не обладает достаточной гибкостью при изменении конфигурации детали и имеет ограниченное применение по толщине используемой заготовки. Кроме того, штамповое производство требует дополнительных издержек на охрану труда, связанных с повышенным шумом и вибрацией.

Одним из альтернативных способов получения заготовок деталей является метод лазерной резки проката (листового материала) [7], который позволяет получать детали сложного контура.



Кулачок и коромысло до преобразования



Преобразованные детали

Рис. 1. Основные узлы ограничителя скорости: 1 – кулачок; 2 – коромысло; 3 – втулка; 4 – рычаг; 5 – стакан; 6 – диск; 7 – вставка; 8 – кулачковая шайба

Однородность структуры и отсутствие пор в готовых деталях обеспечивается свойствами листового материала, получаемого прокатом. При этом, несмотря на то, что точность размеров полученной детали и качество ее поверхностей при данном способе ниже, чем при финишной механической обработке, они на несколько порядков превосходят точность и качество, получаемые при литье, и соответствуют черновой обработке, что позволяет сократить или даже полностью устранить механическую обработку. Также данный способ получения заготовок обладает гибкостью переналадки и не требует подготовки производства. В результате трудоемкость и себестоимость изготовления деталей данным способом в разы ниже, чем при литье деталей.

Следует отметить, что компетенция инженера-конструктора заключается в умении видеть в изделии не только комплекс технических решений, но и связь каждого решения с ценностью (стоимостью его реализации) как для производства, так и для потребителя. Классические знания конструктора в совокупности с некой интуицией и опытом, а также при непосредственном тесном взаимодействии с технологическими и экономическими службами предприятия в процессе функционально-стоимостного анализа ограничителя скорости позволили выбрать наиболее оптимальную схему решения среди нескольких альтернативных вариантов.

Было предложено преобразовать кулачок и коромысло в сборочные единицы, состоящие из деталей простой формы, изготовление которых возможно на станках с лазерным раскроем. Механическая обработка заготовок, получаемых лазерной резкой, назначена только для особо ответственных поверхностей и исключена на всех остальных поверхностях.

При этом главным требованием является то, что, несмотря на изменение конструкций этих двух ключевых

элементов (кулачка в сборе и коромысла) ограничителя скорости, должно быть обеспечено выполнение им основной функции. То есть должна быть обеспечена возможность настройки ограничителя на необходимую скорость срабатывания, которая определяется амплитудой качания коромысла, обкатывающегося по вращающемуся кулачку. Поэтому нужно учитывать, что при изменении массы коромысла, его центра масс и момента инерции будет изменяться скорость срабатывания ограничителя скорости.

На первом этапе в рамках поставленной задачи с применением методов 3D-моделирования и необходимых расчетов (по массе и моменту инерции) был разработан и изготовлен опытный образец ограничителя скорости новой конструкции для номинальной скорости движения кабины лифта 1 м/с.

Новая конструкция коромысла (см. рис. 1) представляет собой сборочный узел, состоящий из точеной втулки 3 и рычага 4, полученного с помощью лазерной резки листового проката. В этом случае есть необходимость только в чистовой обработке посадочных поверхностей под подшипники во втулке 3, а механической обработки рычага 4 почти не требуется.

Это решение было применено и в отношении литого кулачка 1, новая конструкция которого также представляет собой сборочный узел, состоящий из точеного стакана и деталей, получаемых лазерной резкой листового металла (рис. 2).

Расчет экономическими службами предприятия затрат на изготовление опытных образцов коромысла и кулачка новых конструкций показал, что замена операции литья на лазерную резку позволила снизить трудоемкость изготовления коромысла почти в 3 раза, кулачка – почти в 5 раз, себестоимость коромысла – на 20 %, кулачка – на 30 %.

Проверка выполнения ограничителем скорости основной функции бы-

ла выполнена при испытании его опытного образца с деталями новой сборочной конструкции на скорость срабатывания в цеху-изготовителе серийных ограничителей скорости на специализированном аттестованном стенде. Фактическая скорость срабатывания

ограничителя скорости, полученная в ходе испытаний, находилась в диапазоне 1,2...1,4 м/с, что соответствует требованиям ГОСТ 33984.1–2016 для номинальной скорости движения кабины лифта 1,0 м/с.

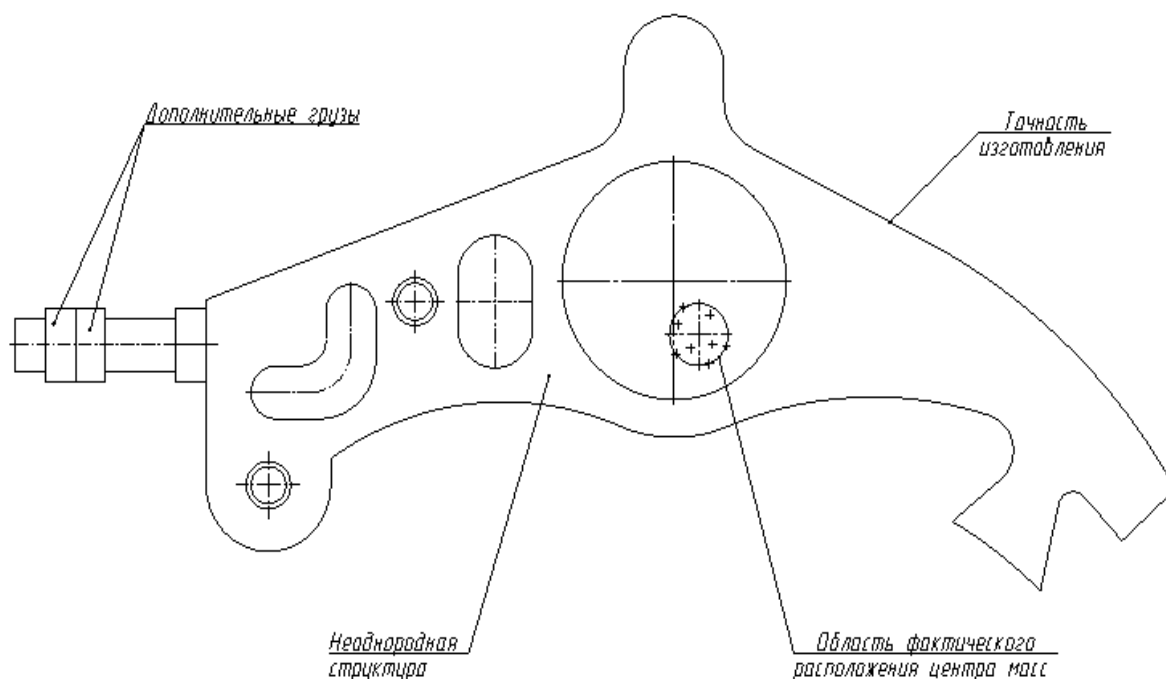


Рис. 2. Схема отклонения расположения фактического положения центра масс коромысла от теоретического

На следующем этапе была поставлена задача: на базе имеющегося опытного образца и оправдавшей себя конструктивной схемы получить ограничитель скорости для номинальных скоростей движения кабины лифта 0,63; 0,71 и 1,6 м/с. Это значит, что согласно [4] скорость срабатывания ограничителя скорости должна находиться в диапазонах 0,73...0,8; 0,82...1,1 и 1,84...2,16 м/с соответственно. Настройка скорости срабатывания ограничителя скорости производилась регулировкой усилия, с которым пружина, закрепленная на корпусе ограничителя скорости, воздействует на коромысло.

Решение, реализованное в новой

конструкции коромысла, также позволило уменьшить количество дополнительных грузов, навешиваемых на литое коромысло при настройке скорости срабатывания ограничителя скорости для корректировки положения центра масс коромысла. Необходимость такой корректировки обусловлена многими факторами, связанными с точностью изготовления коромысла, основным из которых является неоднородность его структуры, присущая литым деталям. Поэтому, несмотря на высокую точность размеров, получаемую после механической обработки литого коромысла, отклонение фактического расположения центра имеет непредсказуе-

мый характер.

В результате расчётов экономическими службами предприятия установлено, что прогнозируемый экономический эффект выпускаемых изделий может составить до 15 % стоимости всего изделия (ограничителя скорости). Величина экономического эффекта может варьироваться в зависимости от цен на материалы и комплектующие, а также от имеющихся на предприятии расценок по технологическим операциям.

На основании проведенных испытаний опытного образца и расчета его экономической эффективности принято решение о постановке на производство данной модификации ограничителя скорости.

Заключение

В заключение следует отметить, что в связи с динамично развивающейся производственно-технологической базой и возникновением современных прогрессивных технологических способов обработки металла возникает необходимость актуализировать выбор технологических процессов получения деталей и узлов, основанных на классических способах обработки. При этом необходимо учитывать конкретные технологические возможности каждого предприятия.

Такой подход продемонстрирован в статье на конкретном примере изготовления наиболее трудоемких элементов ограничителя скорости лифта лазерной резкой вместо классической технологии их изготовления, использующей механическую обработку литых заготовок. При этом выбор способа изготовления должен решать задачу снижения затрат только при условии обязательного выполнения узлом возлагаемых на него функций.

Следует еще раз подчеркнуть, что кардинальное снижение трудоемкости и себестоимости изготовления детали можно получить исключительно рациональными конструктивными решениями на стадии ее проектирования при обязательном условии взаимодействия конструктора с технологическими и экономическими службами предприятия.

Применение подхода на стадии проектирования деталей и выбора их заготовок при конструировании любых узлов и изделий в конечном счете позволяет снизить сроки подготовки производства, сократить процесс освоения и выпуска новой продукции, снизить трудоемкость и себестоимость изготовления, что, в свою очередь, повышает конкурентоспособность не только выпускаемой продукции, но и самого предприятия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выбор и способы изготовления заготовок для деталей машиностроения: учебник для студентов машиностроительных специальностей / Е. П. Круглов [и др.]. – Казань: КНИТУ-КАИ, 2015.
2. **Дмитриев, В. А.** Проектирование заготовок в машиностроении: учебное пособие / В. А. Дмитриев. – Самара: СамГТУ, 2014.
3. Лифты: учебник для вузов / Под общ. ред. Д. П. Волкова. – Москва: АСВ, 1999.
4. **ГОСТ 33984.1–2016 (EN 81-20:2014).** Лифты. Общие требования безопасности к устройству и установке. Лифты для транспортирования людей или людей и грузов. – Введ. 01.11.2018. – Москва: Стандаринформ, 2017.
5. **Моисеева, Н. К.** Функционально-стоимостной анализ в машиностроении / Н. К. Моисеева. – Москва: Машиностроение, 1987.
6. **ТКП 496–2013 (02260).** Системы менеджмента качества. Управление несоответствующей продукцией литья. – Минск : М-во промышленности Респ. Беларусь, 2013.
7. **Попелюх, А. И.** Перспективные способы обработки материалов: учебное пособие / А. И. Попелюх, А. Г. Тюрин, Н. В. Плотникова. – Оренбург: Оренбургский гос. ун-т, 2014.

Статья сдана в редакцию 15 июня 2022 года

Татьяна Викторовна Лапцевич, инженер-конструктор ОНП НТЦ, ОАО «Могилевлифтмаш». E-mail: onp@liftmach.by.

Александр Владимирович Куцепенко, начальник бюро по научной работе отраслевой лаборатории НТЦ, ОАО «Могилевлифтмаш». E-mail: bn_ntc@liftmach.by.

Максим Эдуардович Подымако, зав. отраслевой лабораторией НТЦ, ОАО «Могилевлифтмаш». E-mail: bn_ntc@liftmach.by.

Максим Валерьевич Соболев, директор НТЦ, ОАО «Могилевлифтмаш». E-mail: sobolevmv@liftmach.by.

Tatiana Viktorovna Laptsevich, design engineer of STC Non-Core Production Department, JSC Mogilevliftmash. E-mail: onp@liftmach.by.

Alexandr Vladimirovich Kutsepolenko, Head of the Scientific Research Department of STC branch laboratory, JSC Mogilevliftmash, MSc (Engineering). E-mail: bn_ntc@liftmach.by.

Maksim Eduardovich Podymako, Head of the STC branch laboratory, JSC Mogilevliftmash. E-mail: bn_ntc@liftmach.by.

Maksim Valeryevich Sobolev, STC Director, JSC Mogilevliftmash. E-mail: sobolevmv@liftmach.by.