



УДК 622.647.2

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА УЛАВЛИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА БРЕМСБЕРГОВОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Фомин А.И.¹, Гордин С.А.¹, Ушаков Е.Н.², Тащиенко В.П.¹

¹ Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева

² ООО Центр промышленной безопасности и неразрушающего контроля

Аннотация.

В статье рассмотрены существующие типы исполнительных органов ловителей конвейерной ленты. Исполнительные органы распределены по методу воздействия их на конвейерную ленту в случае ее обрыва. Рассмотрены их недостатки с точки зрения безопасного применения при перевозке людей ленточными конвейерами. Обосновано отсутствие эффективного конструктивного решения устройства улавливания бремсбергового ленточного конвейера, обеспечивающего его безопасное применение. Установлены особенности конструкции улавливающего устройства ленточного конвейера, применяемого на грузо-людском бремсберговом конвейере, с учетом современных требований безопасности. В качестве рациональной конструкции выбран ножевой исполнительный орган устройства улавливания ленточного конвейера, выполненный в виде заточенной планки, имеющей форму желоба. Проведено моделирование методом конечных элементов единичного исполнительного органа устройства улавливания ленточного конвейера для определения характера поведения конструкции исполнительного органа ловителя с различными направлениями и углами заточки. Рассмотрены следующие варианты заточки скребка исполнительного органа: заточка скребка исполнительного органа со стороны движения оборвавшейся ленты; заточка скребка исполнительного органа со стороны, противоположной стороне движения оборвавшейся ленты; двухсторонняя заточка скребка исполнительного органа (с одинаковым углом с каждой стороны). В результате компьютерного моделирования определено максимальное смещение элементов конструкции единичного исполнительного органа в зависимости от угла заточки скребка исполнительного органа устройства улавливания ленточного конвейера и возникающий при этом реактивный момент относительно опор ловителя. Проведено компьютерное моделирование моделей элементов скребков исполнительного органа с различными вариантами и углами заточки и определены усилия, при которых кромка заточенного скребка необратимо деформируется в месте контакта с конвейерной лентой. Установлено, что вариант заточки скребка исполнительного органа не оказывает существенного влияния на его прочность.



Информация о статье

Поступила:

02 апреля 2026 г.

Рецензирование:

18 июня 2026 г.

Принята к печати:

03 июля 2026 г.

Ключевые слова:

ленточный конвейер,
конвейерная лента,
улавливающее устройство
ленточного конвейера,
исполнительный орган, угол
заточки, максимальное
смещение, реактивный
момент, метод конечных
элементов

Для цитирования: Фомин А.И., Гордин С.А., Ушаков Е.Н., Тащиенко В.П. Обоснование выбора рациональной конструкции исполнительного органа улавливающего устройства бремсбергового ленточного конвейера // Техника и технология горного дела. – 2026. – № 3(34). – С. 49-70. – DOI:10.26730/2618-7434-2026-3-49-70, EDN: IVRUPG



Введение

Ленточный конвейерный транспорт давно занял первое место как способ доставки горной массы из шахты на поверхность. Конвейеризация шахт является приоритетным направлением их развития в сфере транспортировки горной массы.

Действующими в РФ нормативными документами по безопасности допускается перевозка людей ленточными конвейерами как по верхней, так и по нижней ветвям конвейерной ленты. При этом подавляющее большинство грузо-людских конвейеров оснащается оборудованием для перевозки людей только по верхней ветви конвейерной ленты. Такой способ считается более безопасным по сравнению с транспортировкой людей по нижней ветви. Но даже при штатной эксплуатации ленточного конвейера при перевозке людей происходят несчастные случаи с персоналом.

Обрыв ленточного полотна конвейера не является редким явлением. К такому событию приводит множество причин и их совокупность: неудовлетворительное техническое состояние конвейера, чрезмерный износ ленточного полотна, нарушение сроков проведения технического обслуживания и др. В любом случае оборвавшееся ленточное полотно, если конвейер не оборудован ловителями, как правило, скатывается вниз по конвейерному ставу, что приводит к значительному временному простоям.

Требования нормативных документов ограничивают применение ловителей на ленточных грузо-людских конвейерах, установленных в выработках с углами наклона от 10^0 до 18^0 , которые работают как в уклонном, так и в бремсберговом режимах. При обрыве ленточного полотна на таких углах установки конвейера без установки ловителей она гарантировано скатится до хвостовой части, при этом может повредить и став конвейера. Ловители минимизируют время на восстановление работоспособности конвейера, так как не дают ленте скатиться до самого низа и должны удержать ее в рамках става.

Если обрыв пустого ленточного полотна или с грузом ведет только к временному простоям и экономическому ущербу, то при перевозке людей ленточным конвейером обрыв полотна с высокой долей вероятности ведет к тяжелым травмам.

На уклонных ленточных конвейерах (транспортирование осуществляется снизу вверх) при обрыве конвейерной ленты скорость ее движения снижается до нуля и только после этого начинается ее движение в обратном направлении. При таком характере изменения скорости движения ленты при обрыве у находящегося на ленте есть время среагировать на это событие и, например, спрыгнуть на почву горной выработки, избежав при этом тяжелых травм. На уклонном конвейере остановить и удержать конвейерную ленту проще за счет полной потери скорости ленточного полотна при его обрыве, поэтому на таком типе конвейеров широко распространены рамочные ловители, конструкция которых описана в патенте RU 2067070 C1 [13] (принцип действия и особенности конструкции рассмотрены далее в статье). Этот ловитель эффективно решает проблему остановки оборвавшейся конвейерной ленты на уклонном конвейере. Смещение ленты в обратном направлении составляет несколько десятков сантиметров, и, соответственно, чем больше загружена лента, тем быстрее она остановится.

Другое дело, когда перевозка людей осуществляется бремсберговым ленточным конвейером (транспортирование осуществляется сверху вниз), тогда при обрыве конвейерной ленты ее скорость будет возрастать с ускорением. В таком случае риск получения травмы серьезно возрастает. Необходимо отметить, что доля бремсберговых ленточных конвейеров от их общего числа, эксплуатируемого в шахтах, небольшая, но при этом угроза обрыва конвейерной ленты всегда присутствует. При эксплуатации бремсберговых ленточных конвейеров отсутствует такое же распространенное конструктивное решение улавливающего устройства, которое применяется на уклонных конвейерах.

Предмет исследования

Предметом исследования является конструкция единичного исполнительного органа улавливающего устройства бремсбергового ленточного конвейера, а также его контактирующая с конвейерной лентой часть – скребок (планка) исполнительного органа.



Обоснование выбора рациональной конструкции исполнительного органа УУЛК

Улавливающее устройство ленточного конвейера (УУЛК) является одним из элементов, обеспечивающих безопасную эксплуатацию ленточного конвейерного транспорта. В научной литературе таким устройствам уделяется недостаточное внимание. Как правило, приводится описание принципов улавливания конвейерной ленты в случае ее обрыва и некоторые конструктивные решения, которые практически не встречаются на предприятиях, эксплуатирующих опасные производственные объекты. Ввиду этого целесообразно было обратиться к такому источнику информации, как патенты на изобретение и полезные модели. Стоит признать, что подавляющее большинство конструктивных решений, описанных в них, также никогда не воплощались на практике. Но, с другой стороны, это дает представление, в каких направлениях работали создатели таких устройств.

В результате проведенного исследования было проанализировано 85 патентов на изобретения, авторские свидетельства и полезные модели в области конвейерного транспорта, которые относятся к устройствам улавливания конвейерной ленты. При этом охвачен период в 50 лет – с 1963 г. по 2013 г. После 2013 г. не было найдено принципиально новых схем работы УУЛК, все патенты основаны на уже ранее разработанных конструкциях.

Улавливающие устройства ленточных конвейеров конструктивно оснащены исполнительными органами (ИО), которые непосредственно взаимодействуют с конвейерной лентой при ее улавливании.

Воздействие исполнительных органов ловителей на конвейерную ленту основано на следующих принципах работы:

1. Заклинивание конвейерной ленты.

Действие основано на принципе заклинивания и самозатягивания конвейерной ленты между элементами конструкции ИО, просвет в которых меньше толщины ленты при его срабатывании. ИО может воздействовать на конвейерную ленту по всей ширине с обеих сторон [1] или по бортам ленты [2]. Действие эксцентриковых ИО также основано на заклинивании конвейерной ленты между элементами конструкции.

2. Деформация конвейерной ленты.

Принцип основан на изменении геометрических параметров поперечного или продольного сечения желоба конвейерной ленты, например, сдавливания ее со стороны бортов и создания при этом сопротивления ее движению. Воздействие ИО на конвейерную ленту может быть с рабочей стороны [3], нерабочей стороны [4] и с обеих сторон [5].

3. Притягивание конвейерной ленты к ИО.

Принцип основан на притягивании конвейерной ленты с нерабочей стороны к ИО ловителя посредством создания вакуума [6] или магнитного поля [7]. Магнитный ИО имеет существенное ограничение, при котором его возможно использовать только с резинотросовой конвейерной лентой.

4. Фрикционное взаимодействие ИО и конвейерной ленты.

Тормозное усилие создается за счет фрикционного взаимодействия ИО с конвейерной лентой с рабочей стороны [8], нерабочей стороны [9] и с обеих сторон [10].

Если выразить в процентном отношении долю каждого типа ИО по принципу воздействия на конвейерную ленту, то получим распределение, приведенное на Рис. 1.

Самой многочисленной группой являются фрикционные ИО, их доля составляет 44% от общего числа рассмотренных улавливающих устройств конвейерной ленты. Такой процент фрикционных ИО от общего числа изобретений можно объяснить тем, что они при срабатывании улавливающего устройства меньше повреждают ленточное полотно, тем самым уменьшается время на восстановление нормальной работы конвейера.

Практическое применение УУЛК при эксплуатации в составе ленточных конвейеров в реальных условиях опасных производственных объектов возможно прежде всего при их полном соответствии требованиям действующих нормативных документов по промышленной безопасности.

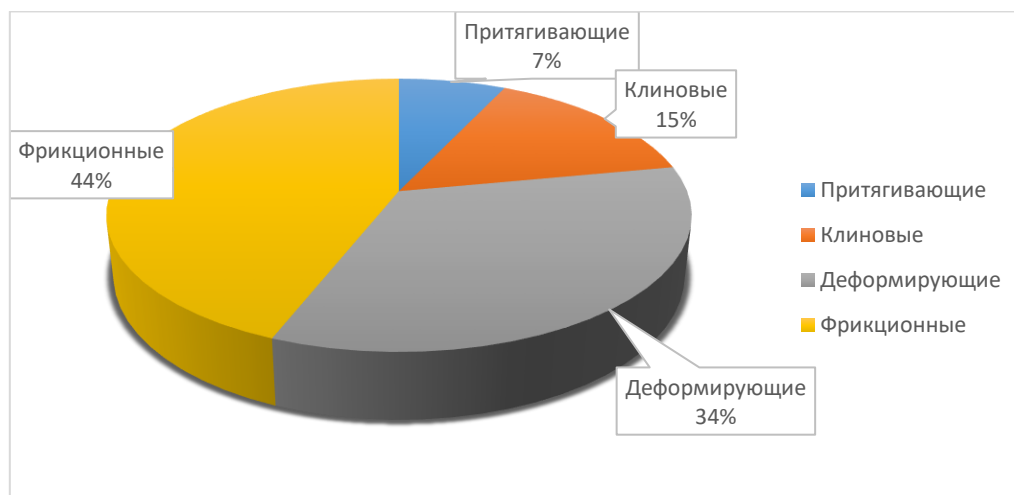


Рис.1. Диаграмма распределения количества конструктивных решений по принципу взаимодействия ИО с конвейерной лентой

Fig.1. Distribution chart of the number of design solutions based on the interaction of the executive body with the conveyor belt

Наряду с прочими требованиями безопасности основным требованием является безопасный проезд людей на ленточном конвейере и исключение их травмирования при срабатывании УУЛК. Для этого конструкция УУЛК не должна иметь элементов, находящихся над верхней ветвью ленты при нормальном режиме работы конвейера, и должна обеспечивать улавливание верхней ветви конвейерной ленты без ее повреждения путем воздействия на ее нерабочую обкладку, с сохранением желобчатости. Улавливающее устройство должно не только надежно остановить конвейерную ленту, но и минимизировать риск получения травмы человеком, находящимся на ней.

Ловители с притягивающими ИО, на первый взгляд, имеют наиболее рациональную конструкцию для обеспечения безопасности проезда людей на верхней ветви конвейерной ленты, а именно: сохранение желобчатости, плавную характеристику торможения, универсальность применения в зависимости от угла транспортирования, но они имеют и существенные недостатки. Для работы магнитным УУЛК необходима сторонняя электрическая энергия, что, безусловно, снижает их надежность. Также магнитные УУЛК могут работать только с резинометаллическими конвейерными лентами, которые в большинстве случаев применяются только на магистральных ленточных конвейерах и имеют большую стоимость по сравнению с резинометаллическими. Вакуумные УУЛК обладают теми же преимуществами, что и магнитные, но их конструкция еще более усложнена наличием вакуумной системы. Использование источников сторонней энергии существенно снижает безопасность применения УУЛК из-за более высокой вероятности отказа по сравнению с полностью механическими системами.

Некоторые типы ловителей, деформирующих конвейерную ленту, возможно применять при транспортировании людей. При этом воздействие ИО должно приходиться на нерабочую сторону конвейерной ленты. Если сохранение желобчатости конвейерной ленты не может быть обеспечено в полной мере, то это может привести к травме.

Ловители с клиновыми ИО невозможно использовать при транспортировании людей ленточным конвейером, так как принцип их работы основан на заклинивании конвейерной ленты между элементами конструкции, а для этого воздействие осуществляется с обеих сторон ленты. Ловители как при нормальном режиме работы, так и при обрыве конвейерной ленты имеют выступающие части над рабочей стороной верхней ветви.

Фрикционные ИО ловителей наиболее конструктивно разнообразны, но для обеспечения безопасности при транспортировании людей ленточным конвейером их воздействие должно происходить с нерабочей стороны конвейерной ленты, с сохранением ее желобчатости, при этом они должны быть без выступающих элементов над рабочей стороной ленты верхней ветви



конвейера. Самым простым решением является применение роликов одностороннего вращения, которые удовлетворяют вышеперечисленным требованиям, но их область применения ограничена только уклонными конвейерами.

Принцип поднятия желоба конвейерной ленты тормозными элементами над роlikоопорами является оптимальным решением как для уклонных, так и бремсберговых конвейеров, в качестве универсальной конструкции УУЛК.

Из рассмотренных конструктивных решений (85 патентов) выявлено, что современным требованиям безопасности при транспортировке горной массы, грузов и людей бремсберговыми конвейерами соответствуют только 6, при этом 3 из них являются вакуумными и 1 – магнитным.

Магнитный УУЛК имеет ограничения по применимости по типу конвейерной ленты, его принцип работы основан на взаимодействии ИО с конвейерной лентой со стальным кордом (резинотросовая лента). При эксплуатации резинотросовой конвейерной ленты на конвейерах в выработках с углами наклона от 10° до 18° допускается улавливающие устройства заменять на устройства контроля целостности тросов (п. 237 Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах», приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 № 507). В связи с этим разработка и применение улавливающих устройств при эксплуатации резинотросовых конвейерных лент не целесообразны. Устройства контроля целостности тросов надежно показывают обрывы отдельных тросов в конвейерной ленте, что дает возможность оперативно следить за ее состоянием и вовремя проводить ремонт.

Для работы вакуумного УУЛК необходимо наличие 2 систем сторонней энергии: электрической и пневматической, что значительно усложняет конструкцию и повышает вероятность отказа.

В результате остается только 2 конструкции, которые соответствуют современным требованиям по безопасности и не зависят от источников сторонней энергии. К ним относятся патенты на изобретение «Бремсберговый ленточный конвейер. № RU 2 281 899 C1, Тарасов Ю.Д.» [11] и «Наклонный ленточный конвейер. Тарасов Ю.Д., № RU 2 408 519 C2» [12]. Принцип действия первого основан на натяжении 2 тросов, находящихся под верхней ветвью конвейерной ленты, которые поднимают ее над роlikоопорами по всей длине конвейера при обрыве. Тормозное усилие создается в местах контакта стального троса с нерабочей стороной верхней ветви конвейерной ленты. Принцип действия второго основан на провисании верхней ветви конвейерной ленты за счет собственного веса между роlikоопор и торможении ее за счет контакта с поперечными балками, при этом лента остается в контакте с роlikоопорами. Эти патенты являются теоретическими разработками, в литературе отсутствует информация об их применении в условиях реальных производств, а также отсутствуют расчеты создаваемого тормозного усилия для оценки эффективности их работы.

Можно выделить особенности конструкции улавливающего устройства ленточного конвейера, применяемого на грузо-людском бремсберговом конвейере, с учетом современных требований безопасности:

1. Воздействие на нерабочую сторону конвейерной ленты.
2. Сохранение желобчатости при срабатывании ловителя.
3. Независимость от сторонней энергии. Принцип работы ловителя и датчика обрыва должен быть основан только на использовании механической энергии.
4. Отсутствие выступающих элементов над рабочей стороной верхней ветви конвейерной ленты при нормальной работе и при обрыве конвейерной ленты.

Таким образом, в настоящее время отсутствует эффективное конструктивное решение устройства улавливания бремсбергового ленточного конвейера, обеспечивающее его безопасное применение.

Рациональной конструкцией УУЛК является рычажная с фрикционным исполнительным органом (ИО), воздействующим на конвейерную ленту с нерабочей стороны. Сам ИО может быть выполнен в виде трубы круглого сечения, заточенной планки (ножевой ИО) или планки с штырями (зубьями и др.).

ИО в виде трубы круглого сечения имеет меньший коэффициент сопротивления движению ленты по сравнению с ножевым ИО и, соответственно, развивает меньшее тормозное усилие при улавливании конвейерной ленты.

Применение ИО с штырями, зубьями и подобными элементами создает высокую вероятность нарушения целостности ленточного полотна, что может привести к лишним временным и финансовым затратам по замене поврежденных участков конвейерной ленты.

В качестве рациональной конструкции выбран ножевой исполнительный орган УУЛК, выполненный в виде заточенной планки (скребка), имеющей форму желоба. Такой выбор обусловлен тем, что ножевой ИО имеет более высокий коэффициент сопротивления движению ленты по сравнению с трубчатым и не оказывает разрушающего воздействия на конвейерную ленту.

В угольных шахтах Кузбасса широкое распространение получила конструкция улавливающего устройства конвейерной ленты уклонных конвейеров, которая описана в патенте RU 2067070 C1 [13]. В качестве исполнительного органа выступает планка, заточенная с одной стороны (позиция 1, Рис. 2).

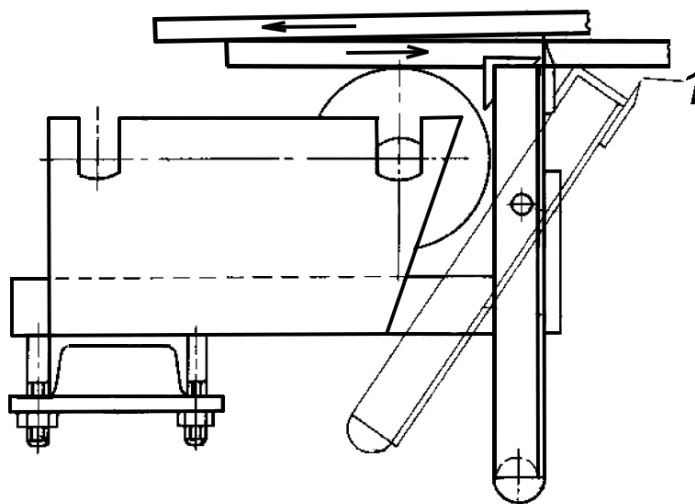


Рис. 2. Устройство улавливания конвейерной ленты в случае ее обрыва, в соответствии с патентом RU 2067070 C1

Fig. 2. Device for catching a conveyor belt in case of breakage, in accordance with patent RU 2067070 C1

Коэффициент сопротивления движению ленты по остро заточенному скребку (К) определялся экспериментально и составляет от 0,8 до 2,0 в зависимости от состояния ленты и ее загрузки. Скребок внедряется в материал обкладки ленты, перед ним возникает зона упругого продольного сжатия, что создает дополнительное сопротивление движению ленты назад (вниз). Чем больше загружена лента (Р), тем выше коэффициент сопротивления движению ленты и тем быстрее она останавливается [14]. Зависимость от нагрузки приведена на Рис. 3 [14].

Из графика следует, что были проведены эксперименты с определением коэффициента сопротивления движению по скребкам с углами заточки 15°, 30°, 45°, а также по скругленному скребку с радиусом скругления 5 мм в контактной с лентой зоне. Угол заточки скребка (исполнительного органа ловителя) в 15° обеспечивает максимальное сопротивление движению конвейерной ленты.

Можно предположить, что при дальнейшем уменьшении угла заточки скребка (менее 15°) коэффициент сопротивления движению будет увеличиваться, но при этом прочность конструкции будет уменьшаться. Будут возникать пластические деформации металла заточенной части, что приведет к изменению коэффициента сопротивления движению и снизит эффективность улавливания ленты.

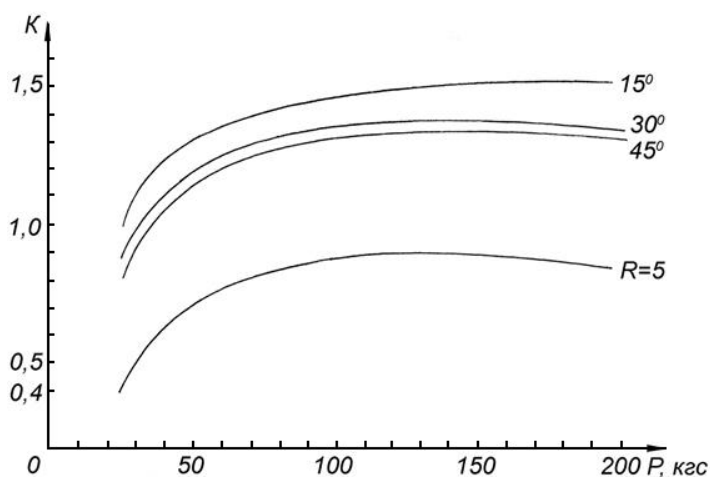


Рис. 3. График зависимости коэффициента сопротивления движению заточенного скребка по конвейерной ленте от силы вдавливания и угла заточки

Fig. 3. Graph of the resistance coefficient of a sharpened scraper moving on a conveyor belt as a function of the pressing force and the sharpening angle

Из вышеприведенного исследования следует, что радиусную заточку можно исключить из рассмотрения, так как она не обеспечивает эффективное торможение конвейерной ленты по сравнению с острозаточенными вариантами.

Существенным недостатком устройства улавливания конвейерной ленты в случае ее обрыва в соответствии с патентом RU 2067070 С1 является его неспособность улавливания конвейерной ленты в случае ее обрыва на бремсберговых ленточных конвейерах. При этом сама идея улавливания оборвавшейся конвейерной ленты при помощи ее контакта с заточенным исполнительным органом ловителя является перспективной. Патентом RU 2067070 С1 предусмотрено применение ИО ловителя в форме рабочей ветви ленты (желоба) при углах установки конвейера свыше 18° .

Улавливание конвейерной ленты при ее обрыве на бремсберговом ленточном конвейере является процессом более сложным по сравнению с улавливанием конвейерной ленты на уклонном конвейере, в связи с тем, что ловителю приходится не просто удерживать конвейерную ленту от скатывания ее вниз по ставу, но и предварительно гасить значительную энергию движущейся конвейерной ленты с грузом. Для этого применение исполнительного органа ловителя в форме желоба не должно зависеть от угла установки ленточного конвейера в выработки.

Желобчатая форма исполнительного органа будет создавать большее сопротивление в месте контакта ее с конвейерной лентой. При этом длину зоны контакта желобчатого ИО с лентой необходимо ограничить на уровень 0,9 от ширины конвейерной ленты. Такое решение обязательно, чтобы исключить травму человека при возможном контакте с ловителем.

Результатом развития и совершенствования конструкции является патент на полезную модель № 108803 «Тормозная станция для остановки оборвавшейся конвейерной ленты от скатывания на уклонных и бремсберговых конвейерах» [15], в соответствии с которым ловитель в целом представляет собой техническое устройство, состоящее из:

- 1) тормозных станций, в состав которых входит расчетное количество единичных исполнительных органов.
- 2) единичных исполнительных органов (тормозных элементов).
- 3) датчика обрыва конвейерной ленты. Датчик не является объектом исследования. Главной задачей датчика является надежное обнаружение обрыва конвейерной ленты и выдача сигнала на срабатывание тормозных станций. В приоритете механические датчики, не зависящие от сторонней энергии (электрической, гидравлической и др.).



Тормозные станции для обеспечения одновременного срабатывания оснащены тягами, которые соединяют отдельные единичные ИО. Количество единичных ИО может меняться в зависимости от конкретных условий эксплуатации ленточного конвейера. Тормозные станции, в свою очередь, также соединены между собой тросовым приводом.

Единичные исполнительные органы имеют форму рабочего профиля ленты и установлены на оси, при этом не находясь в постоянном контакте с конвейерной лентой и в режиме ожидания обрыва свободно лежат на упорах. В случае обрыва конвейерной ленты именно единичные ИО воспринимают всю нагрузку, возникающую при улавливании ленточного полотна (с грузом и людьми). Так как конструкция является универсальной и может применяться для работы на уклонных и бремсберговых конвейерах, то прочность конструкции должна быть рассчитана на бремсберговый режим, потому что при нем возникают значительно большие нагрузки не только на контактирующие с конвейерной лентой элементы исполнительного органа, но и на конструкцию ИО в целом. Невозможно допустить, чтобы при срабатывании улавливающего устройства происходили повреждения и нарушения целостности конструкции исполнительного органа и контактирующих с конвейерной лентой элементов. Выход из строя отдельных тормозных элементов может привести к нарушению работы ловителя в целом, что приведет к значительным затратам на восстановительный ремонт, а если осуществлялась перевозка людей при работе ленточного конвейера, то и к возможным негативным для них последствиям.

Прочность конструкции тормозных элементов ловителя конвейерной ленты бремсбергового ленточного конвейера критически важна. Конструкция должна обеспечивать надежное улавливание конвейерной ленты при максимальном уровне загрузки конвейера и эксплуатации его на максимально допустимых углах установки в горных выработках.

Определить прочность конструкции единичного исполнительного органа можно двумя способами: изготовить натурный образец и имитировать возникающие при улавливании конвейерной ленты нагрузки либо воспользоваться современными программными комплексами для проведения компьютерного моделирования. Первый вариант, конечно, будет более приближен к реальности, но следует учесть сложность приложения усилия в конкретные интересующие точки, качество изготовления конструкции (человеческий фактор) и такой важный аспект, как дороговизна. Компьютерное моделирование имеет преимущества перед натурным образцом в том, что дает возможность моделировать сколько угодно вариантов конструктивных решений и прилагать к ним интересующие нагрузки, как по величине, так и по направлению.

Перед проведением моделирования конструкции единичного исполнительного органа определим, что изменяющимися параметрами при приложении нагрузки будут направление заточки скребка, который непосредственной будет контактировать с конвейерной лентой, и угол, на который необходимо его заточить. Желобчатый скребок будет непосредственно контактировать с оборвавшейся конвейерной лентой, и через него нагрузка будет передаваться дальше на всю конструкцию тормозного элемента.

Направление заточки скребка ИО и угол представляют интерес для изучения. Необходимо исследовать, оказывает ли направление заточки влияние на конструкцию в целом и какие углы заточки можно применять исходя из прочностных характеристик скребка ИО.

Рассмотрим следующие способы заточки скребка ИО (Рис. 4):

- 1) Вариант 1 – заточка скребка ИО со стороны движения оборвавшейся ленты.
- 2) Вариант 2 – заточка скребка ИО со стороны, противоположной стороне движения оборвавшейся ленты.
- 3) Вариант 3 – двухсторонняя заточка скребка ИО (с одинаковым углом с каждой стороны).

Угол заточки – это угол между плоскостями заточенной части скребка ИО, сходящимися после его заточки. Исследуемый угол заточки скребка примем в диапазоне от 2° до 30° . Выбор минимального значения угла от 2° обусловлен изучением поведения конструкции ИО ловителя и поиском минимально возможного угла заточки. По экспериментальным данным (Рис. 3) [14] коэффициенты сопротивления движению заточенного скребка с углами заточки 30° и 45° по конвейерной ленте близки, и с ростом угла коэффициент сопротивления снижается. Поэтому

наибольший угол заточки принимаем равным 30° . Коэффициент сопротивления движению заточенного скребка с углами заточки менее 15° не был исследован, предположительно из-за того, что уменьшение угла ведет к уменьшению прочности конструкции.

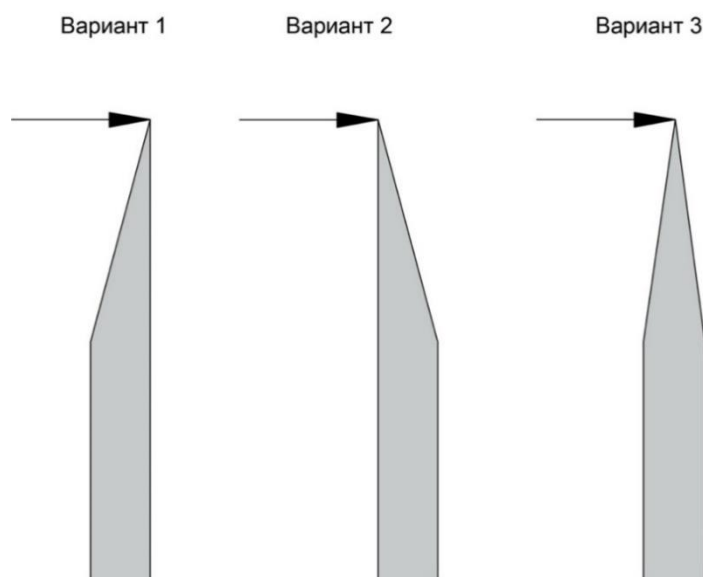


Рис. 4. Варианты заточки скребка исполнительного органа устройства улавливания ленты конвейера (стрелкой показано направление движения оборвавшейся конвейерной ленты)

Fig. 4. Options for sharpening the scraper of the conveyor belt capture device (the arrow indicates the direction of movement of the broken conveyor belt)

Для определения характера поведения конструкции ИО ловителя с различными направлениями и углами заточки проведено исследование с помощью моделирования методом конечных элементов программными комплексами Autodesk Inventor Professional и Ansys Workbench.

Результаты моделирования МКЭ исполнительного органа УУЛК в программном комплексе Autodesk Inventor Professional

При помощи программного комплекса Autodesk Inventor Professional построена модель единичного элемента ловителя с ножевым исполнительным органом в трех вариантах его заточки. К модели прикладывалась нагрузка в 1000 Н в месте заточки скребка ИО в направлении, имитирующем направление движения оборвавшейся конвейерной ленты (Рис. 4). Величина нагрузки выбрана из условия наглядности демонстрации распределения ее по конструкции и отсутствия возможных пластических деформаций в металле.

В качестве материала использована Сталь 3, как наиболее распространенная и доступная для производства ловителя.

В результате компьютерного моделирования, выполненного методом конечных элементов, определялось максимальное смещение элементов конструкции в зависимости от угла заточки скребка исполнительного органа УУЛК и возникающий при этом реактивный момент относительно опор ловителя. Реактивный момент определялся для получения общего представления, как конструкция в целом реагирует на изгибающий момент.

Вариант 1 – заточка ИО со стороны движения оборвавшейся ленты.

На Рис. 5 представлена модель единичного исполнительного органа предлагаемого улавливающего устройства и проекция смещения элементов конструкции при действии нагрузки. Заточка непосредственно скребка выполнена по варианту 1, то есть со стороны движения конвейерной ленты. Этот вариант используется в конструкции уклонного ловителя

(Рис. 2), видимо, из-за того, что при обратном ходе ленты ей проще «приподняться» на скребках над роликоопорами.

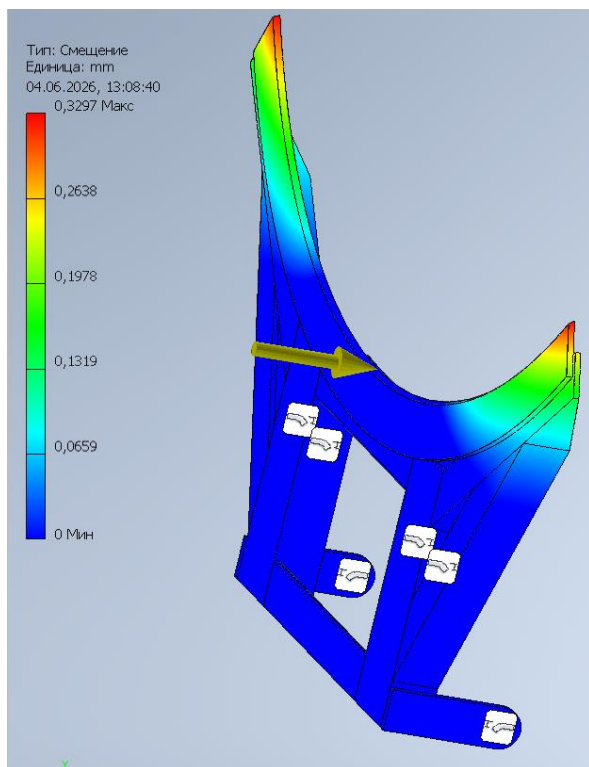


Рис. 5. Модель проекции смещения варианта заточки 1

Fig. 5. Model of the offset projection of the 1st sharpening option

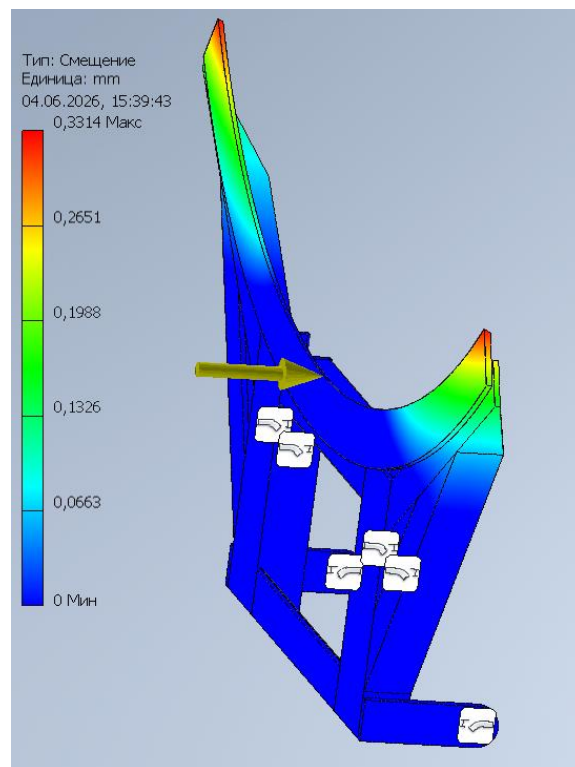


Рис. 6. Модель проекции смещения варианта заточки 2

Fig. 6. Model of the offset projection of the 2nd sharpening option

При воздействии нагрузки на конструкцию максимальное смещение в зависимости от угла заточки скребка варьируется в диапазоне от 0,334702 мм до 0,330082 мм (Рис. 8), при этом максимальное смещение наблюдается в зонах, расположенных на краях скребка ИО (Рис. 5). В основной силовой части конструкции единичного ИО смещения практически отсутствуют. Реактивный момент изменяется в диапазоне от 198,283 Нм до 197,001 Нм (Рис. 9).

Вариант 2 – заточка ИО со стороны, противоположной стороне движения оборвавшейся ленты.

На Рис. 6 представлена модель единичного исполнительного органа предлагаемого улавливающего устройства и проекция смещения элементов конструкции при действии нагрузки. Заточка непосредственно скребка выполнена по варианту 2, то есть со стороны, противоположной движению конвейерной ленты.

При воздействии нагрузки на конструкцию максимальное смещение в зависимости от угла заточки варьируется в диапазоне от 0,335063 мм до 0,331611 мм (Рис. 8), при этом максимальное смещение наблюдается в зонах, расположенных на краях скребка ИО (Рис. 6). В основной силовой части конструкции единичного ИО смещения практически отсутствуют. Реактивный момент изменяется в диапазоне от 198,288 Нм до 197,036 Нм (Рис. 9).

Вариант 3 – двухсторонняя заточка ИО (с одинаковым углом с каждой стороны, для расчетов принята сумма углов с каждой стороны).

На Рис. 7 представлена модель единичного исполнительного органа предлагаемого улавливающего устройства и проекция смещения элементов конструкции при действии нагрузки. Заточка непосредственно скребка выполнена по варианту 3, то есть с обеих сторон с одинаково равным углом.

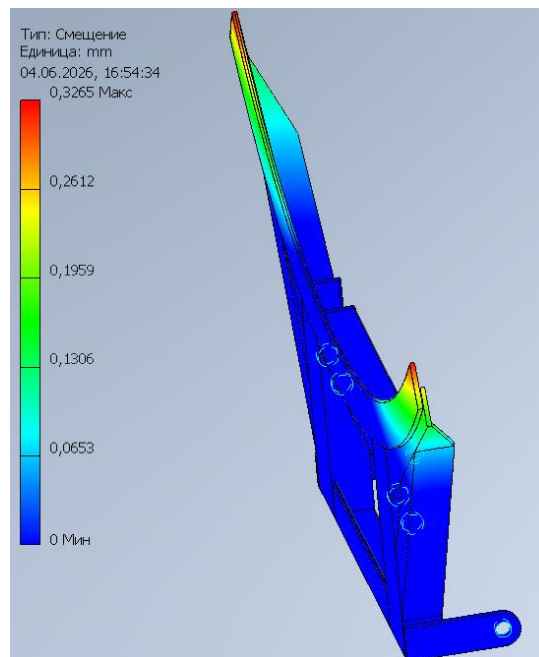


Рис. 7. Модель проекции смещения варианта заточки 3
Fig. 7. Model of the projection offset of the sharpening option 3

При воздействии нагрузки на конструкцию максимальное смещение в зависимости от угла заточки варьируется в диапазоне от 0,333728 мм до 0,331930 мм (Рис. 8), при этом максимальное смещение наблюдается в зонах, расположенных на краях скребка ИО (Рис. 7). В основной силовой части конструкции единичного ИО смещения практически отсутствуют. Реактивный момент изменяется в диапазоне от 198,349 Нм до 197,707 Нм (Рис. 9).

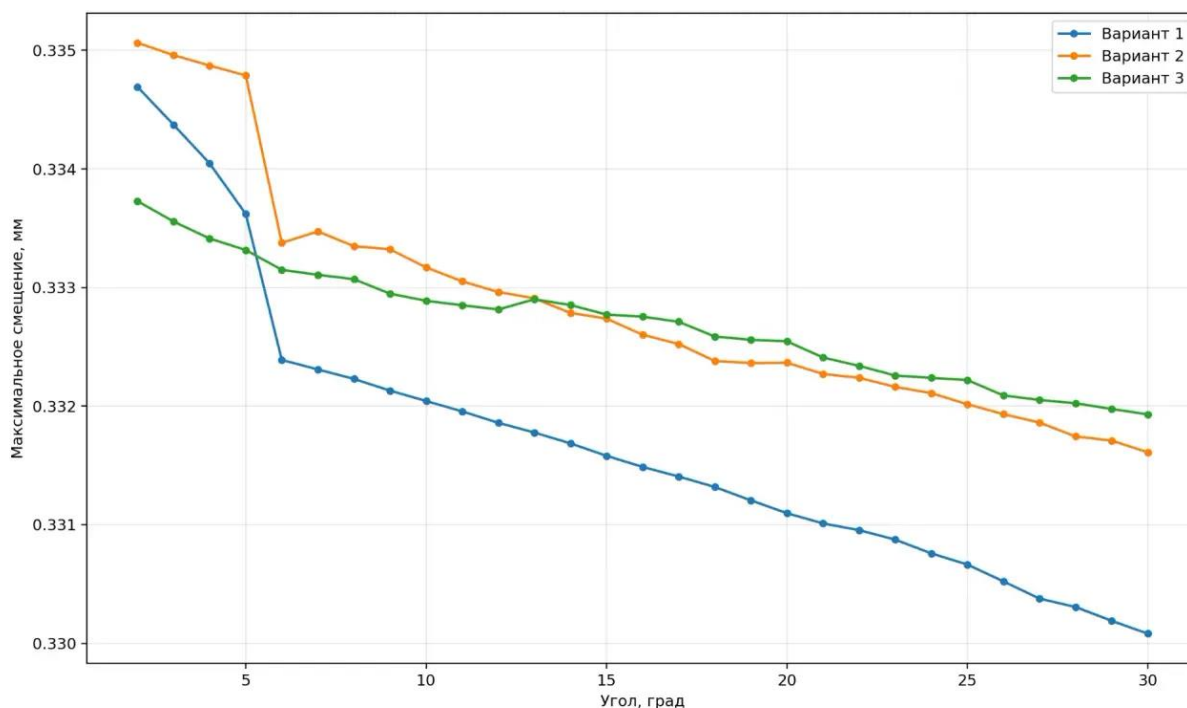


Рис. 8. Сравнение трех вариантов графиков зависимостей максимального смещения от угла заточки скребка ИО
Fig. 8. Comparison of three versions of the graphs of the maximum displacement as a function of the angle of the executive body scraper's sharpening



Результаты компьютерного моделирования сведены в графики, которые показывают характер определяемых зависимостей (Рис. 8 и 9).

На Рис. 8 представлено совмещение графиков зависимости максимального смещения от угла заточки скребка ИО при действии одинаковой нагрузки всех трех вариантов заточки.

На Рис. 9 представлено совмещение графиков зависимости реактивного момента от угла заточки скребка ИО при действии одинаковой нагрузки всех трех вариантов заточки.

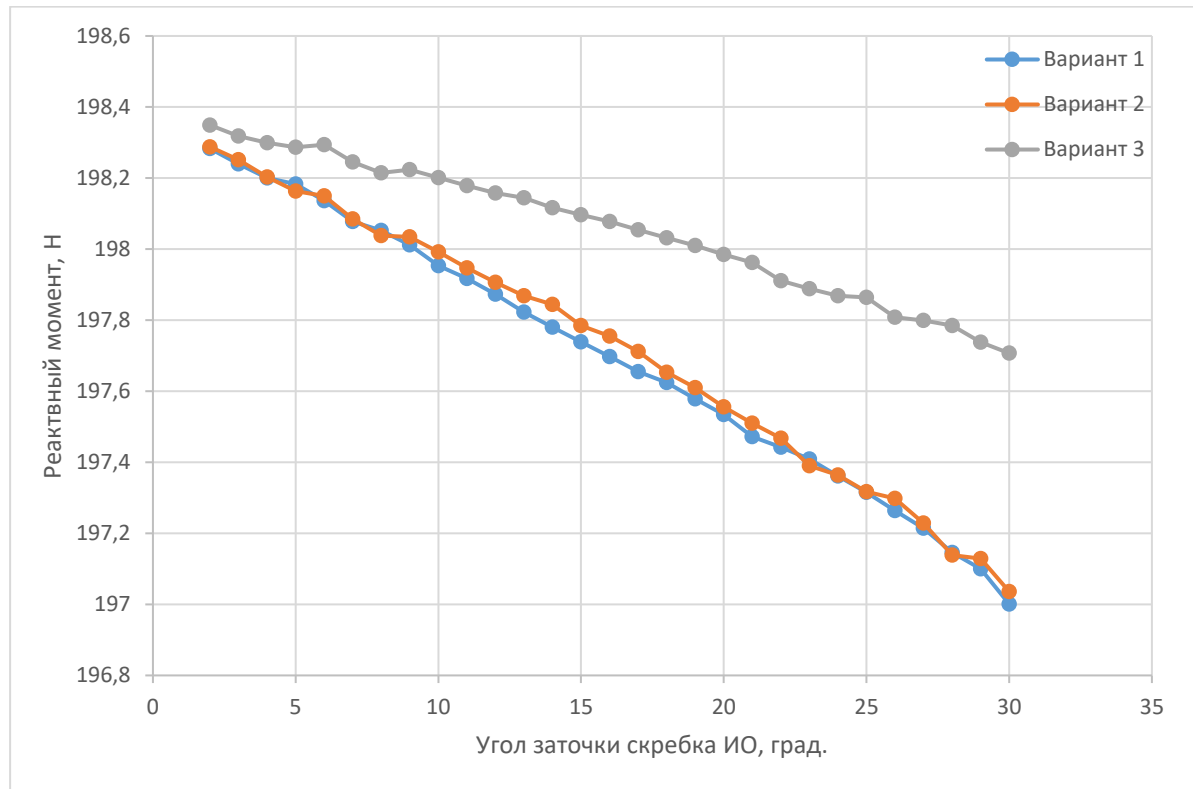


Рис. 9. Сравнение графиков зависимостей реактивного момента от угла заточки скребка ИО трех вариантов

Fig. 9. Comparison of the graphs of the reactive moment dependence on the angle of the executive body scraper's sharpening

Наложение графиков трех вариантов на Рис. 8 и 9 наглядно показывает различия в поведении модели при одинаковой нагрузке.

В результате проведенного компьютерного моделирования конструкции единичного исполнительного органа установлено, что:

1. При увеличении угла заточки скребка ИО значение максимального смещения элементов конструкции уменьшается.
2. При увеличении угла заточки скребка ИО значение реактивного момента конструкции уменьшается.
3. При варианте 1 разность между максимальным смещением при угле заточки 2° и при угле заточки 30° составляет 0,004620 мм, при этом разность между значениями реактивного момента составляет 1,282 Нм.
4. При варианте 2 разность между максимальным смещением при угле заточки 2° и при угле заточки 30° составляет 0,003452 мм, при этом разность между значениями реактивного момента составляет 1,252 Нм.
5. При варианте 3 разность между максимальным смещением при угле заточки 2° и при угле заточки 30° составляет 0,001798 мм, при этом разность между значениями реактивного момента составляет 0,642 Нм.



Графики результатов показывают, что в вариантах 1 и 2 при переходе от угла 5° к углу 6° происходит резкое изменение максимального смещения по сравнению с углами более 6° . В остальном же графики максимального смещения всех трех вариантов заточки ИО схожи. В варианте 3 зависимость угла заточки скребка исполнительного органа улавливающего устройства ленточного конвейера от максимального смещения при одинаковой нагрузке в 2,7 раза ниже, чем при варианте 1, и в 2 раза ниже, чем при варианте 2. Изменение реактивного момента в зависимости от угла заточки в варианте 3 ниже, чем в вариантах 1 и 2, практически в 2 раза.

Такое поведение модели в вариантах 1 и 2 предположительно можно объяснить тем, что при заданной в расчете нагрузке на углах заточки менее 6° начинается потеря устойчивости конструкции, наступает переход от упругих к пластическим деформациям. Вариант заточки 3 благодаря своей геометрии двухсторонней заточки ведет себя более стабильно и признаков потери прочности конструкции не проявляет. В связи с этим ограничим минимальный угол заточки – не менее 6° , тогда:

1. При варианте 1 разность между максимальным смещением при угле заточки 6° и при угле заточки 30° составляет 0,002321 мм, при этом разность между значениями реактивного момента составляет 1,135 Нм.

2. При варианте 2 разность между максимальным смещением при угле заточки 6° и при угле заточки 30° составляет 0,001765 мм, при этом разность между значениями реактивного момента составляет 1,114 Нм.

3. При варианте 3 разность между максимальным смещением при угле заточки 6° и при угле заточки 30° составляет 0,001219 мм, при этом разность между значениями реактивного момента составляет 0,587 Нм.

В варианте заточки 1 наблюдается большая разница в максимальном смещении в зависимости от угла заточки, в варианте 3 – меньшая разница из трех вариантов. Конструкция варианта 3 меньше реагирует на изменение угла заточки скребка ИО.

Прилагаемой нагрузки в 1000 Н оказалось достаточно для того, чтобы увидеть поведение конструкции единичного исполнительного органа ловителя в целом, выявить слабые зоны, в которых возможны максимальные деформации при действии нагрузки, значения которой будут приближены к реальным значениям.

В итоге выявлено, что чем острее угол, тем больше реактивный момент в закреплении и тем больше максимальное смещение конструкции, что можно объяснить большей деформацией конструкции при малых углах заточки. То есть увеличение угла заточки делает конструкцию в целом более прочной, при этом смещение становится меньше, уменьшается изгибающий момент и, как следствие, уменьшается реактивный момент.

Результаты моделирования элемента заточенного скребка ИО в программном комплексе Ansys Workbench

Для изучения величины усилия, при котором кромка заточенного скребка пластически деформируется в месте контакта с конвейерной лентой, и визуализации этого процесса при помощи программного комплекса Ansys Workbench построена модель элементов заточенных скребков ИО с тремя вариантами заточки, в соответствии с Рис. 4.

Для построения модели предварительно необходимо определиться с исходными данными. Принято решение изучить напряженно-деформируемое состояние скребков на примере их отдельных элементов. В качестве отдельного элемента выбран участок скребка со следующими характеристиками:

1. Высота элемента составляет 200 мм. Размер выбран из условия, чтобы возможно было конструктивно обеспечить заточку элемента на угол от 6° . При меньшей длине на малых углах заточки не остается плоскости, которую необходимо фиксировать в качестве опоры при моделировании.

2. Длина элемента составляет 100 мм. Такой размер хорошо подходит для приведения значения получаемого усилия к 1 мм длины скребка, а также для наглядности изменения прилагаемого усилия в зависимости от угла заточки скребка.

3. Ширина (толщина) элемента составляет 20 мм. Этот размер выбран для обеспечения прочности и исключения влияния изгиба элемента под действием нагрузки.

4. Углы заточки элементов изменялись от 6° до 30° .

5. Характеристики материала элементов скребка соответствуют Сталь 3.

Моделирование проводилось при следующих условиях:

1. Нагружение элементов скребка происходило в статическом режиме.

2. При построении модели для расчета методом конечных элементов нагрузка от предполагаемой конвейерной ленты прикладывалась на расстоянии 1 мм от вершины угла заточки и по всей длине элемента скребка, имитируя погружение ИО в обкладочную резину конвейерной ленты от нагрузки.

3. Конечно-элементная сетка моделировалась объемными трехмерными конечными элементами в форме призм и тетраэдров.

4. Определялся параметр Safety Factor (предел прочности) при заданном направленном усилии (Force).

На Рис. 10, 11, 12 в качестве примера представлены модели заточенных элементов скребков с углом заточки 20° с вариантами заточки 1, 2 и 3 соответственно.

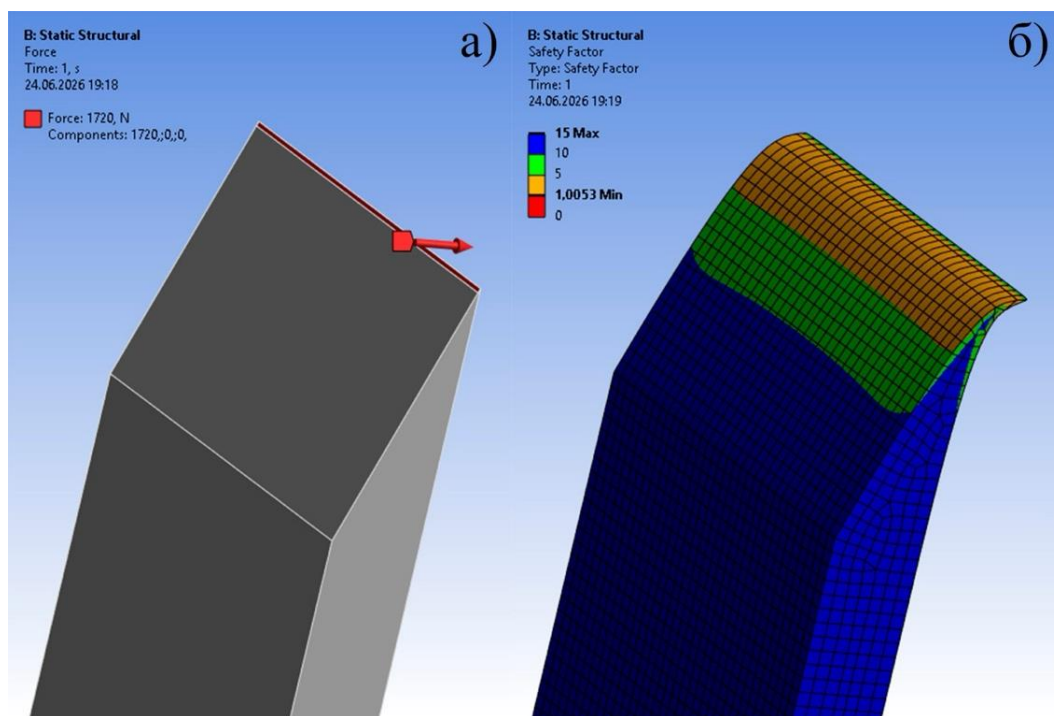


Рис. 10. а) Модель элемента ИО при варианте заточки 1 с указанием направления действующего усилия; б) пример характерного направления деформации элемента ИО от воздействующей нагрузки при варианте заточки 1

Fig. 10. a) Model of executive body element with option 1 sharpening, indicating the direction of the applied force; b) example of the characteristic direction of deformation of executive body element under the applied load with option 1 sharpening

В результате моделирования для каждой модели было определено максимальное усилие, которое приближало запас прочности кромки заточки элемента к 1. Снижение запаса прочности менее 1 означает начало пластических деформаций металла скребка, что не должно происходить при нормальной работе улавливающего устройства, так как это будет снижать коэффициент сопротивления движению конвейерной ленты. При пластической деформации кромка в месте заточки фактически превращается в кромку с неким радиусом, а как видно из Рис. 3, скребок даже с таким малым радиусом, как 5 мм, снижает коэффициент сопротивления движению

практически в 2 раза. Поэтому установление минимального возможного угла заточки скребка столь важно для безопасной работы улавливающего устройства.

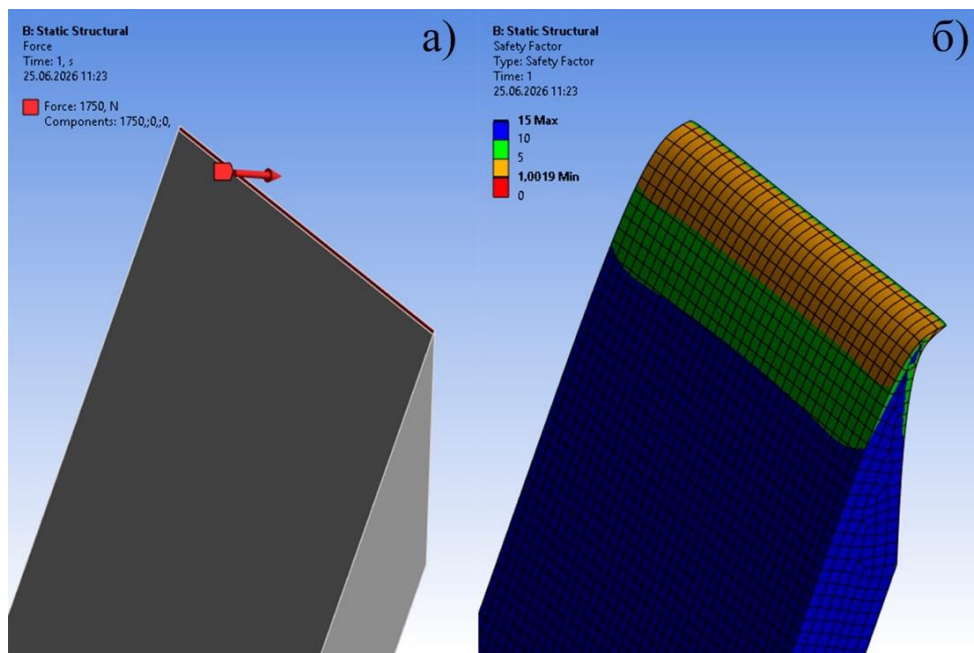


Рис. 11. а) Модель элемента ИО при варианте заточки 2 с указанием направления действующего усилия; б) пример характерного направления деформации элемента ИО от воздействующей нагрузки при варианте заточки 2

Fig. 11. a) Model of the executive body element with option 2 sharpening, indicating the direction of the applied force; b) example of the characteristic direction of deformation of executive body element under the applied load with option 2 sharpening

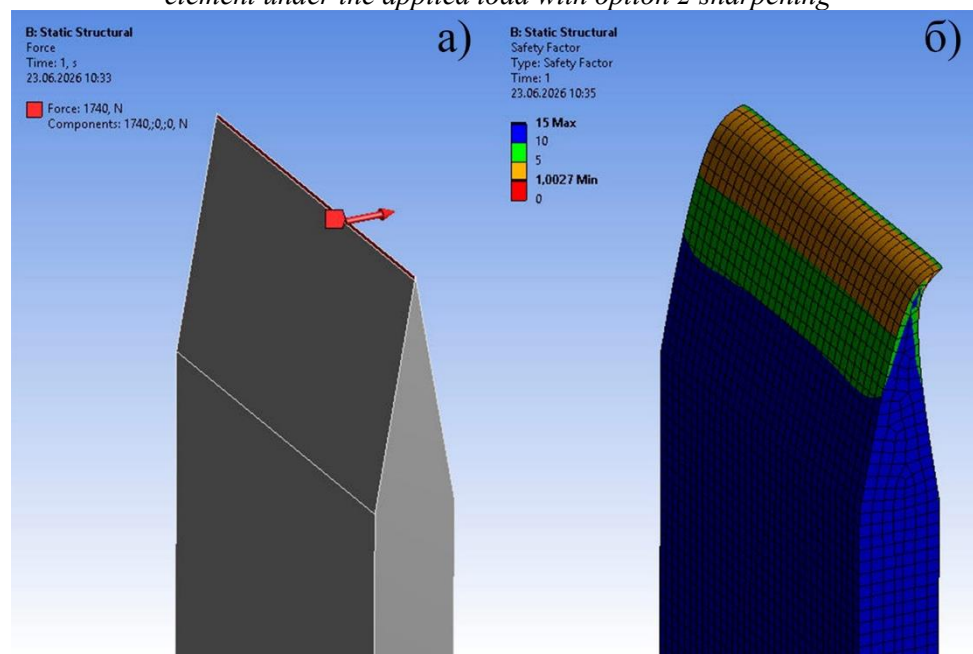


Рис. 12. а) Модель элемента ИО при варианте заточки 3 с указанием направления действующего усилия; б) пример характерного направления деформации элемента ИО от воздействующей нагрузки при варианте заточки 3

Fig. 12. a) Model of executive body element with option 3 sharpening, indicating the direction of the applied force; b) example of the typical direction of deformation of executive body element under the applied load with option 3 sharpening



Максимальное усилие, при воздействии которого запас прочности кромки заточки элемента стремился к 1, составило:

- 1) При варианте 1 заточки скребка ИО усилие, воздействующее на элемент скребка ИО, изменялось в диапазоне от 155 Н до 3750 Н (Таблица 1 и Рис. 13).
- 2) При варианте 2 заточки скребка ИО усилие, воздействующее на элемент скребка ИО, изменялось в диапазоне от 157 Н до 3700 Н (Таблица 1 и Рис. 13).
- 3) При варианте 3 заточки скребка ИО усилие, воздействующее на элемент скребка ИО, изменялось в диапазоне от 155 Н до 3680 Н (Таблица 1 и Рис. 13).

Более подробно численные значения результатов моделирования приведены в Таблице 1. Для удобства распространения на скребки другого размера это усилие приведено к 1 мм длины.

Таблица 1. Значения усилия, при котором достигается коэффициент запаса прочности, равный 1, при трех вариантах заточки скребка ИО

Table 1. Values of the force that achieves a safety factor of 1 for three options of sharpening the IO scraper

Угол заточки ИО, градус.	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
	Усилие, при котором достигается коэффициент запаса прочности, равный 1, Н	Усилие, при котором достигается коэффициент запаса прочности, равный 1, приведенное к 1 мм длины ИО, Н/мм	Усилие, при котором достигается коэффициент запаса прочности, равный 1, Н	Усилие, при котором достигается коэффициент запаса прочности, равный 1, приведенное к 1 мм длины ИО, Н/мм	Усилие, при котором достигается коэффициент запаса прочности, равный 1, Н	Усилие, при котором достигается коэффициент запаса прочности, равный 1, приведенное к 1 мм длины ИО, Н/мм
6	155	1,55	157	1,57	155	1,55
7	208	2,08	211	2,11	210	2,10
8	270	2,70	275	2,75	260	2,60
9	335	3,35	343	3,43	320	3,20
10	425	4,25	420	4,20	415	4,15
11	500	5,00	515	5,15	510	5,10
12	785	7,85	595	5,95	610	6,10
13	710	7,10	715	7,15	700	7,00
14	825	8,25	830	8,30	1020	10,20
15	952	9,52	960	9,60	940	9,40
16	1215	12,15	1070	10,70	1080	10,80
17	1225	12,25	1240	12,40	1220	12,20
18	1370	13,70	1450	14,50	1340	13,40
19	1520	15,20	1600	16,00	1590	15,90
20	1720	17,20	1750	17,50	1740	17,40
21	1890	18,90	1840	18,40	1900	19,00
22	2080	20,80	2020	20,20	1960	19,60
23	2260	22,60	2260	22,60	2150	21,50
24	2380	23,80	2460	24,60	2340	23,40
25	2560	25,60	2650	26,50	2530	25,30
26	2900	29,00	2760	27,60	2700	27,00
27	3060	30,60	3020	30,20	3040	30,40
28	3360	33,60	3220	32,20	3150	31,50
29	3540	35,40	3580	35,80	3480	34,80
30	3750	37,50	3700	37,00	3680	36,80



На Рис. 13 представлен сравнительный график зависимости усилия, при котором достигается предел прочности, равный 1, элемента скребка ИО в районе заточенной кромки от угла заточки. На графике нанесены кривые трех вариантов заточки.

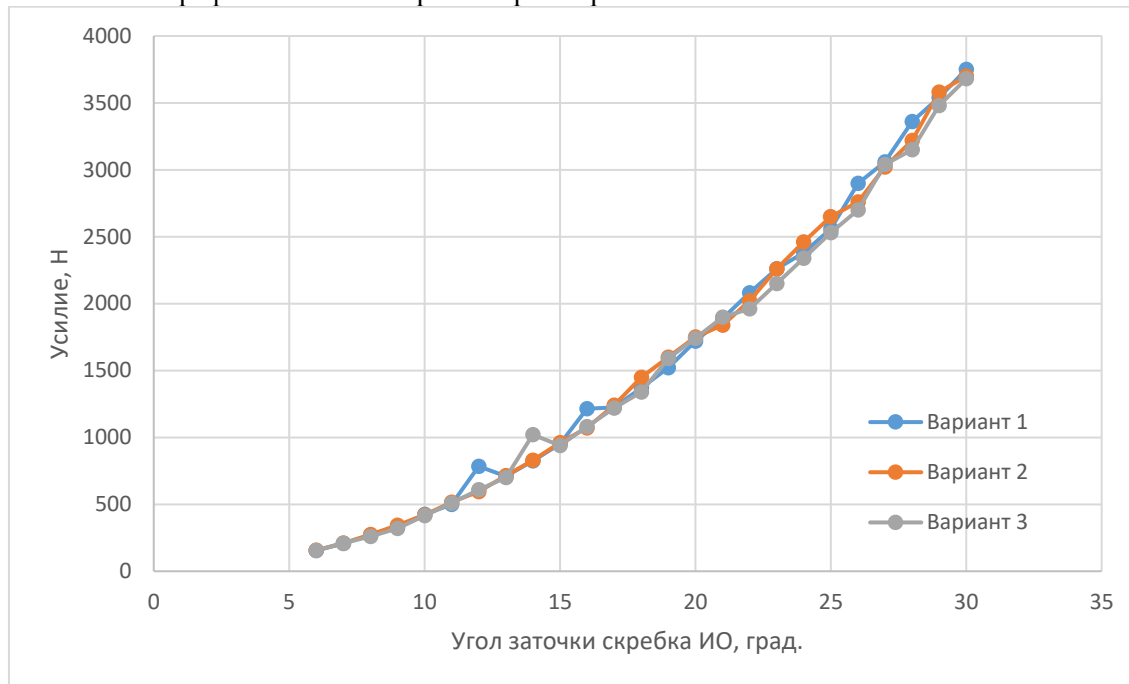


Рис. 13. Сравнительный график зависимости усилия, при котором достигается предел прочности элемента ИО, равный 1, от угла заточки всех трех вариантов

Fig. 13. Comparative graph of the force at which the strength limit of executive body element is equal to 1, depending on the sharpening angle of all three options

Анализируя полученные в результате моделирования данные (Таблица 1 и Рис. 13), можно увидеть, что значения усилия при одинаковых углах заточки скребков очень близки, и графики зависимости усилия от угла заточки практически накладываются друг на друга. Следовательно, направление заточки не оказывает практически никакого влияния на прочность скребка. А вот при возрастании угла заточки увеличивается и усилие, при котором достигается предел прочности элемента скребка ИО, равный 1.

В результате использования современных способов компьютерного моделирования методом конечных элементов конструкции элементов улавливающего устройства конвейерной ленты были получены модели с различными вариантами заточки скребка ИО, а также с различными углами его заточки. Такой способ значительно сократил финансовые и временные затраты на изготовление и испытание натурных моделей единичного исполнительного органа. При этом он позволяет получить множество данных о поведении конструкции под нагрузкой для последующего анализа.

Выводы:

1. В результате проведенного исследования выявлено, что в настоящее время отсутствует эффективное конструктивное решение исполнительного органа устройства улавливания ленточного конвейера, которое обеспечивает безопасное улавливание конвейерной ленты в случае ее обрыва при транспортировке людей бремсберговыми ленточными конвейерами.

2. Для обеспечения эффективной и безопасной работы УУЛК на грузо-людских бремсберговых ленточных конвейерах рациональной конструкцией единичного ИО (тормозного элемента) является ножевой исполнительный орган УУЛК, выполненный в виде заточенной планки (скребка), имеющей форму желоба, повторяющего поддерживающую верхнюю роликсоопору. При этом длина планки (скребка) должна быть меньше ширины конвейерной



ленты на 10% для исключения ее контакта с людьми, находящимися на ленте, при срабатывании УУЛК.

3. По результатам компьютерного моделирования методом конечных элементов выявлено, что чем острее угол, тем больше реактивный момент в местах закрепления и тем больше максимальное смещение конструкции, что можно объяснить большей деформацией конструкции при малых углах заточки. То есть увеличение угла заточки делает конструкцию в целом более прочной, при этом смещение становится меньше, уменьшается изгибающий момент и, как следствие, уменьшается реактивный момент.

4. При воздействии нагрузки на конструкцию единичного исполнительного органа в зоне заточки скребка максимальное смещение модели наблюдается в зонах, расположенных по краям скребка. Основная силовая конструкция тормозного элемента при этом практически не смещается.

5. Вариант заточки 3 благодаря своей геометрии двухсторонней заточки при углах от 2° до 30° ведет себя более стабильно и признаков потери прочности конструкции не проявляет. Стоит отметить, что в диапазоне значений углов от 6° до 30° характер изменения зависимости максимального смещения от угла заточки практически одинаков.

6. При компьютерном моделировании элементов скребка установлено, что вариант заточки скребка (1, 2 или 3) практически не влияет на его прочность в месте контакта с конвейерной лентой при равных значениях углов. Варианты 1 и 2 можно считать более приоритетными для условий реального производства, так как для изготовления варианта 3 требуется больше технологических операций.

7. В рамках дальнейшего развития темы представленного исследования необходимо определить минимально возможный угол заточки скребка ИО УУЛК при максимальной загрузке ленточного конвейера.

Список литературы

1. Гридин И.Е., Беккер Г.Х., Плетнев А.Г. Устройство для улавливания ленты ленточного конвейера. № SU 179 666 A1, МПК B65G43/06. 884511/27-11; Заявл. 24.02.1964, Оpubл. 08.02.1966, Бюл. № 5.
2. Хайлов К.И., Цоглин А.Н., Кузнецов В.С. Устройство для улавливания конвейерной ленты. Государственный проектный институт «Союзпроммеханизация». № SU 361 946 A1, МПК B65G43/06. 1616264/27-11; Заявл. 20.01.1971, Оpubл. 13.12.1972, Бюл. № 2.
3. Шаповалов Ю.М., Тимошин В.В. Устройство для улавливания ленты конвейера в случае ее обрыва. Джезказганский научно-исследовательский и проектный институт цветной металлургии. № SU 882 876 A1, МПК B65G43/06. 2900247; Заявл. 28.03.1980, Оpubл. 23.11.1981, Бюл. № 43.
4. Савин В.И. Способ улавливания конвейерной ленты и устройство для его осуществления. ОАО «Михайловский ГОК». № RU 2 230 696 C2, МПК B65G43/06. 2002113848/03; Заявл. 27.05.2002, Оpubл. 20.06.2004.
5. Шаповалов Ю.М., Морозов Г.С., Шулекин Ю.И. Устройство для улавливания конвейерной ленты. Джезказганский научно-исследовательский и проектный институт цветной металлургии Министерства цветной металлургии Казахской ССР. № SU 901 186 A1, МПК B65G43/06. 2939196; Заявл. 11.06.1980, Оpubл. 30.01.1982, Бюл. № 4.
6. Васильев К.А., Эйст Ю.А. Вакуум-ловитель конвейерной ленты. Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова. № RU 2 092 416 C1, МПК B65G43/06. 93052926/03; Заявл. 22.11.1993, Оpubл. 10.10.1997.
7. Проскурин В.И., Боев Н.И., Глухов В.А., Сотников В.Г., Трушенко Н.В., Чернышев В.М., Пристромский В.А., Школьников А.М. Устройство для улавливания конвейерной ленты в случае ее обрыва. № SU 543 588 A1, МПК B65G43/06. 2151043/03; Заявл. 01.07.1975, Оpubл. 25.01.1977. Бюл. № 3.
8. Тарасов Ю.Д. Устройство для улавливания конвейерной ленты в случае ее обрыва. Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова (технический университет). № RU 2 043 284 C1, МПК B65G43/06. 5038111/03; Заявл. 17.04.1992, Оpubл. 10.09.1995.
9. Тарасов Ю.Д. Роликовый останов. Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова (технический университет). № RU 2 424 172 C2, МПК B65G43/06. 2009136873/11; Заявл. 05.10.2009, Оpubл. 20.07.2011. Бюл. № 20.
10. Сашко К.В., Романюк Н.Н., Гришан К.Ю., Воропаева Н.А. Устройство для улавливания ленты конвейера в случае ее обрыва. Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный



- технический университет». № ВУ 16 286 С1. МПК В65G43/06. а 20100810; Заявл. 25.05.2010, Оpubл. 30.08.2012.
11. Тарасов Ю.Д. Бремсберговый ленточный конвейер. Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова (технический университет). № RU 2 281 899 С1, МПК В65G43/06. 2005105911/11; Заявл. 02.03.2005, Оpubл. 20.08.2006. Бюл. № 23.
 12. Тарасов Ю.Д. Наклонный ленточный конвейер. Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова (технический университет). № RU 2 408 519 С2, МПК В65G43/06. 2009102570/11; Заявл. 26.10.2009, Оpubл. 10.08.2010, Бюл. № 22.
 13. Герасимов Г.К., Ещеркин А.В., Чернов Р.И. Восточный научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности. № RU 2067070 С1, МПК В65G43/06. 94018354/03; Заявл. 19.05.94; Оpubл. 20.11.01, Бюл. № 32.
 14. Методика расчета устройств, обеспечивающих удержание от скатывания конвейерных лент при их обрыве на грузопассажирских уклонных конвейерах. – ФГУП НЦ ВостНИИ. Кемерово. – 2006.
 15. Ещеркин А.В., Копытин В.А., Ушаков Е.Н. Тормозная станция для остановки оборвавшейся конвейерной ленты от скатывания на уклонных и бремсберговых конвейерах. Патент на полезную модель № 108803, 2011109579, 27.09.2011.
 16. Галкин В.И., Дмитриев В.Г., Дьяченко В.П., Запенин И.В., Шешко Е.Е. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий // М.: Издательство МГТУ. – 2005.
 17. Григорьев В.Н., Дьяков В.А., Пухов Ю.С. Транспортные машины для подземных разработок. М.: Недра. – 1984.
 18. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. М.: Машиностроение. – 1983.
 19. Тарасов Ю.Д. Транспортные машины непрерывного действия. СПб.: Санкт-Петербургский горный институт, 2009.
 20. Тарасов Ю.Д., Федоров Ф.В. Перспективы совершенствования технических средств для улавливания лент уклонных и бремсберговых конвейеров // Записки Горного института. – 2008. – Т.178. – С. 95-101.
 21. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров. М.: Машиностроение, 1978.
 22. Шахмейстер Л.Г., Ляшкевич П.А., Фохтин В.Г. Ловители для наклонных ленточных конвейеров: брошюра // М.: Министерство угольной промышленности СССР, 1972.
 23. Wheatley G., Chandrasiri R. S. S. Design of an emergency conveyor belt clamp for heavy duty drift belt installation in underground applications: a case study // Iberoamerican Journal of Industrial Engineering. – 2020. – Vol. 12. – No. 24. – pp. 34–52.
 24. Yin W., Yang Y., Wang Z., Xu J. Parameters Optimization of a Hydraulic Buffer System for Belt Arrestor in Downward Belt Conveyors // Mathematical and Computational Applications. – 2016. – Vol. 21. – No. 4. – Article 42. DOI: 10.3390/mca21040042.
 25. Yin W., Yang Y., Wang Z., Liu X. Study about the Effect of System Parameters on the Dynamic Properties of Hydraulic Buffer System Applied to Belt Arrestor for Downward Belt Conveyor // Recent Patents on Mechanical Engineering. – 2017. – Vol. 10. – No. 1. – P. 66-74. DOI:10.2174/2212797610666170105100945
 26. Li J.-X., Kou Z.-M., Du J.-W. Co-Simulation and Experimental Research of Wedge Broken-Belt Catching Device // The Open Mechanical Engineering Journal. – 2014. – Vol. 8. – pp. 358-363. DOI: 10.2174/1874155X01408010358.
 27. Ma H. W., Li D. S., Zhang X. H., Mao Q. H. Dynamic Simulation Analysis of Belt Rupture for Belt Conveyor // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vols. 313–314. – P. 1120-1124. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.313-314.1120.
 28. Zhang X. H., Ma H. W., Zhang D. W., Mao Q. H., Chen W. H. Analysis and Design an Electro-Hydraulic Type Belt Capture Device for Belt Conveyor // Applied Mechanics and Materials. – 2012. – Vols. 121-126. – pp. 1901-1905. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.121-126.1901.
 29. Zhang X., Qi Y., Jia Q. The Both-Side-Revolve Broken Belt Catching Machine // Journal of China Coal Society. – 2009. – Vol. 34. – No. 6. – pp. 845-848.
 30. Feng L., Feng R., Zhao P. Research on Braking Performance of the Buffer System of the Broken Belt Catching Device for Belt Conveyors // Mechanical Research & Application. – 2024. – Vol. 37. – No. 3. – pp. 34-37. DOI: 10.16576/j.ISSN.1007-4414.2024.03.010.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2026 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Информация об авторах

Фомин Анатолий Иосифович, доктор технических наук, профессор кафедры аэрологии, охраны труда и природы

e-mail: fominai@kuzstu.ru

Гордин Сергей Александрович, ассистент кафедры горных машин и комплексов, научный сотрудник научно-исследовательской лабораторий цифровой трансформации предприятий минерально-сырьевого комплекса (НИЛ ЦТПМСК)

e-mail: gordinsa@kuzstu.ru

Тациенко Виктор Прокопьевич, д.т.н., директор института промышленной и экологической безопасности

e-mail: tatsienkovp@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
650000, РФ, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Ушаков Егор Николаевич, горный инженер, руководитель лаборатории неразрушающего контроля

e-mail: e.n.ushakov@mail.ru

ООО Центр промышленной безопасности и неразрушающего контроля
650071, РФ, г. Кемерово, пр-кт Весенний, 12/16, 2

UDC 622.647.2

JUSTIFICATION FOR THE SELECTION OF AN OPTIMAL DESIGN FOR THE EXECUTIVE BODY OF THE COLLECTING DEVICE OF A BREMSBERG BELT CONVEYOR

Anatoly I. Fomin¹, Sergey A. Gordin¹, Egor N. Ushakov², Victor P. Tatsienko¹

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

² Center for industrial safety and non-destructive testing LLC



Article info

Received:

02 April 2026

Revised:

18 June 2026

Accepted:

03 July 2026

Keywords: belt conveyor, conveyor's belt, belt conveyor catch device, executive body, sharpening angle, maximum displacement, reactive torque, finite element method

Abstract.

The article discusses the existing types of conveyor belt catchers. The catchers are divided into categories based on their method of impact on the conveyor belt in the event of a breakage. The article also examines the disadvantages of these catchers from the perspective of their safe use in transporting people using conveyor belts. The article concludes that there is currently no effective design solution for a conveyor belt catcher that ensures its safe use. The features of the design of the belt conveyor's catcher device used on the cargo-people break-off conveyor have been established, taking into account modern safety requirements. The knife-type executive body of the belt conveyor's catcher device, which is a sharpened bar shaped like a trough, has been chosen as the optimal design.

A finite element modeling of a single actuator of a belt conveyor catching device was carried out to determine the behavior of the catcher actuator design with different directions and angles of sharpening. The following options for sharpening the actuator scraper are considered: sharpening the actuator scraper from the side of the broken belt movement; sharpening the actuator scraper from the side opposite to the broken belt movement; double-sided sharpening of the actuator scraper (with the same angle on each side). As a result of computer modeling, the maximum displacement of the individual actuator's structural elements was determined, depending on the angle of sharpening of the scraper of the belt conveyor's catcher actuator, and the resulting reactive moment relative to the catcher supports.



Computer modeling of models of elements of the scraper of the executive body with different options and angles of sharpening and determined the forces at which the edge of the sharpened scraper is irreversibly deformed at the point of contact with the conveyor belt. It is established that the option of sharpening the scraper of the executive body does not have a significant effect on its strength.

For citation Fomin A.I., Gordin S.A., Ushakov E.N., Tatsienko V.P. Justification for the selection of an optimal design for the executive body of the collecting device of a bremsberg belt conveyor. *Journal of mining and geotechnical engineering*. 2026;3(34):49-70. DOI: 10.26730/2618-7434-2026-3-49-70, EDN: IVRUPG

References

1. Gridin I.E., Bekker G.Kh., Pletnev A.G. Device for catching a belt of a belt conveyor. No. SU 179 666 A1, IPC B65G43/06. 884511/27-11; Cl. 24.02.1964, Published 08.02.1966, Bulletin No. 5. [In Russ.].
2. Khailov K.I., Tsoglin A.N., Kuznetsov V.S. Device for catching conveyor belt. State Design Institute "Soyuzprommekhanizatsiya". No. SU 361 946 A1, IPC B65G43/06. 1616264/27-11; Cl. 20.01.1971, Published 13.12.1972, Bulletin No. 2. [In Russ.].
3. Shapovalov Yu.M., Timoshin V.V. Device for catching a conveyor belt in case of its breakage. Zhezkazgan Research and Design Institute of Non-Ferrous Metallurgy. No. SU 882 876 A1, IPC B65G43/06. 2900247; Cl. 28.03.1980, Published 23.11.1981, Bull. No. 43. [In Russ.].
4. Savin V.I. Method for catching a conveyor belt and a device for its implementation. Mikhailovsky Mining and Processing Plant. No. RU 2 230 696 C2, IPC B65G43/06. 2002113848/03; Cl. 27.05.2002, Published 20.06.2004. [In Russ.].
5. Shapovalov Yu.M., Morozov G.S., Shulekin Yu.I. Device for catching conveyor belt. Dzhezkazgan Research and Design Institute of Non-Ferrous Metallurgy of the Ministry of Non-Ferrous Metallurgy of the Kazakh SSR. No. SU 901 186 A1, IPC B65G43/06. 2939196; Cl. 11.06.1980, Published 30.01.1982, Bull. No. 4. [In Russ.].
6. Vasiliev K.A., Eist Yu.A. Conveyor belt vacuum catcher. St. Petersburg State Mining Institute named after G.V. Plekhanov. No. RU 2 092 416 C1, IPC B65G43/06. 93052926/03; Application 11/22/1993, Publ. 10.10.1997. [In Russ.].
7. Proskurin V.I., Boev N.I., Glukhov V.A., Sotnikov V.G., Trushenko N.V., Chernyshev V.M., Pristromsky V.A., Shkolnikov A.M. Device for catching a conveyor belt in case of its breakage. No. SU 543 588 A1, IPC B65G43/06. 2151043/03; Cl. 01.07.1975, Published 25.01.1977. Bulletin No. 3. [In Russ.].
8. Tarasov Yu.D. Device for catching a conveyor belt in case of its breakage. Plekhanov Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University). No. RU 2 043 284 C1, IPC B65G43/06. 5038111/03; Cl. 17.04.1992, Published 10.09.1995. [In Russ.].
9. Tarasov Yu.D. Roller stop. Plekhanov Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University). No. RU 2 424 172 C2, IPC B65G43/06. 2009136873/11; Cl. 05.10.2009, Published 20.07.2011. Bulletin No. 20. [In Russ.].
10. Sashko K.V., Romanyuk N.N., Grishan K.Yu., Voropaeva N.A. Device for catching a conveyor belt in case of its breakage. Educational Institution "Belarusian State Agrarian Technical University". No. BY 16 286 C1. IPC B65G43/06. a 20100810; Claimed 25.05.2010, Published 30.08.2012. [In Russ.].
11. Tarasov Yu.D. Bremsberg belt conveyor. Plekhanov Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University). No. RU 2 281 899 C1, IPC B65G43/06. 2005105911/11; Cl. 02.03.2005, Published 20.08.2006. Bulletin No. 23. [In Russ.].
12. Tarasov Yu.D. Inclined belt conveyor. Plekhanov Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University). No. RU 2 408 519 C2, IPC B65G43/06. 2009102570/11; Cl. 26.10.2009, Published 10.08.2010, Bulletin No. 22. [In Russ.].
13. Gerasimov G.K., Eshcherkin A.V., Chernov R.I. Eastern Research Institute for Safety in the Mining Industry. No. RU 2067070 C1, IPC B65G43/06. 94018354/03; Cl. 19.05.94; Published 20.11.01, Bulletin No. 32. [In Russ.].
14. Methodology for calculating devices that prevent conveyor belts from rolling away in the event of their breakage on freight and passenger inclined conveyors. VostNII Scientific Center, Kemerovo, 2006. [In Russ.].
15. Eshcherkin A.V., Kopytin V.A., Ushakov E.N. Brake station for stopping a broken conveyor belt from rolling on inclined and brake-slope conveyors. Patent for utility model No. 108803, 2011109579, Sep. 27, 2011. [In Russ.].
16. Galkin V.I., Dmitriev V.G., Dyachenko V.P., Zapenin I.V., Sheshko E.E. Modern theory of belt conveyors of mining enterprises. Moscow: Publishing House of Moscow State Mining University. 2005. [In Russ.].



17. Grigoriev V.N., Dyakov V.A., Pukhov Yu.S. Transport vehicles for underground mining. Moscow: Nedra Publishing House. 1984. [In Russ.].
18. Spivakovskiy A.O., Dyachkov V.K. Transporting machines. Moscow: Mashinostroenie Publishing House, 1983. [In Russ.].
19. Tarasov Yu.D. Continuous-action transport machines. St. Petersburg: St. Petersburg Mining Institute Publishing House, 2009. [In Russ.].
20. Tarasov Yu.D., Fedorov F.V. Prospects for improving technical means for catching belts of inclined and braked conveyors. *Journal of the Mining Institute*. 2008;178:95-101. [In Russ.].
21. Shakhmeyster L.G., Dmitriev V.G. Theory and calculation of belt conveyors. Moscow: Mashinostroenie Publishing House, 1978. [In Russ.].
22. Shakhmeyster L.G., Lyashkevich P.A., Fokhtin V.G. Catchers for inclined belt conveyors: brochure M.: Ministry of Coal Industry of the USSR, 1972. [In Russ.].
23. Wheatley G., Chandrasiri R. S. S. Design of an emergency conveyor belt clamp for heavy duty drift belt installation in underground applications: a case study. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*. 2020;12(24):34-52.
24. Yin W., Yang Y., Wang Z., Xu J. Parameters Optimization of a Hydraulic Buffer System for Belt Arrestor in Downward Belt Conveyors. *Mathematical and Computational Applications*. 2016;21(4):42. DOI: 10.3390/mca21040042.
25. Yin W., Yang Y., Wang Z., Liu X. Study about the Effect of System Parameters on the Dynamic Properties of Hydraulic Buffer System Applied to Belt Arrestor for Downward Belt Conveyor. *Recent Patents on Mechanical Engineering*. 2017;10(1):66-74. DOI: 10.2174/2212797610666170105100945.
26. Li J.-X., Kou Z.-M., Du J.-W. Co-Simulation and Experimental Research of Wedge Broken-Belt Catching Device. *The Open Mechanical Engineering Journal*. 2014;8:358-363.
27. Ma H. W., Li D. S., Zhang X. H., Mao Q. H. Dynamic Simulation Analysis of Belt Rupture for Belt Conveyor. *Applied Mechanics and Materials*. 2013;313-314:1120-1124.
28. Zhang X. H., Ma H. W., Zhang D. W., Mao Q. H., Chen W. H. Analysis and Design an Electro-Hydraulic Type Belt Capture Device for Belt Conveyor. *Applied Mechanics and Materials*. 2012;121-126:1901-1905. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.121-126.1901.
29. Zhang X., Qi Y., Jia Q. The Both-Side-Revolve Broken Belt Catching Machine. *Journal of China Coal Society*. 2009;34(6):845-848.
30. Feng L., Feng R., Zhao P. Research on Braking Performance of the Buffer System of the Broken Belt Catching Device for Belt Conveyors. *Mechanical Research & Application*. 2024;37(3):34-37. DOI: 10.16576/j.ISSN.1007-4414.2024.03.010.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2026 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Anatoly I. Fomin, D.Sc. (Tech.), Professor
e-mail: fominai@kuzstu.ru

Sergey A. Gordin, assistant of the Department of Mining Machines and Complexes, research fellow of the research laboratory for digital transformation of enterprises of the mineral resource complex
e-mail: gordinsa@kuzstu.ru

Victor P. Tatsienko, Dr.Sc. (Eng.), Director of the Institute of Industrial and Ecological Safety
e-mail: tatsienkovp@kuzstu.ru
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 Vesennaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation

Egor N. Ushakov, mining engineer, Head of non-destructive testing laboratory
e-mail: e.n.ushakov@mail.ru
Center for industrial safety and non-destructive testing, LLC
12/16, 2, Vesennij prospect, Kemerovo, 650071, Russian Federation

