

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ РАЗРАБОТКА РОЛИКООПОРЫ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Ленточные конвейеры являются распространенным типом транспортирующих машин непрерывного действия и используются для перемещения сыпучих, кусковых или штучных грузов. Основные преимущества механизма заключаются в высокой производительности, простоте конструкции, малой материалоемкости и удобстве эксплуатации. Ленточные конвейеры характеризуются надежностью в работе при относительно небольшом расходе энергии. В работе представлена методика проектирования оптимальной конструкции роlikоопоры конвейера, являющейся одной из основных сборочных единиц, созданная в системе автоматизированного проектирования.

Конструкторская подготовка производства, 3D-модели, автоматизированное проектирование.

**Анализ объекта исследований и проектирования.** Автоматизированная конструкторская подготовка производства включает в себя 3D-проектирование моделей деталей и узлов изделий, оформление 2D-чертежей и необходимых спецификаций, а также каталогов продукции. Ассоциативная связь цифровых прототипов и чертежей позволяет учесть все изменения электронной модели в технических документах [1].

На рис. 1 представлена принципиальная схема ленточного конвейера. Транспортный механизм имеет тяговый элемент в виде бесконечной ленты, которая является несущим звеном конвейера, привод, приводящий в движение барабан, натяжное устройство ленты, роликовые опоры на рабочей и на холостой ветви ленты, отклоняющий барабан, загрузочное и разгрузочное устройства, разгрузочный желоб и устройство

для очистки ленты. Все элементы смонтированы на раме [2, 3].

Чтобы лента под влиянием собственной силы тяжести и веса груза не провисала, на раме конвейера устанавливают поддерживающие роlikоопоры, которые являются одним из наиболее нагруженных элементов конвейера, от работы которых в значительной степени зависят надежность, долговечность и затраты на эксплуатацию всего конвейера. Конструктивная схема желобчатой роlikоопоры (ГОСТ 22645-77), используемой для транспортирования сыпучих грузов и имеющей наиболее сложную конструкцию, приведена на рис. 2.

**Автоматизированное проектирование конструкции.** Основным элементом роlikоопоры, в значительной степени определяющим надежность работы конвейера, является ролик, конструктивная схема которого представлена на рис. 3.



Рис. 1. Схема ленточного конвейера

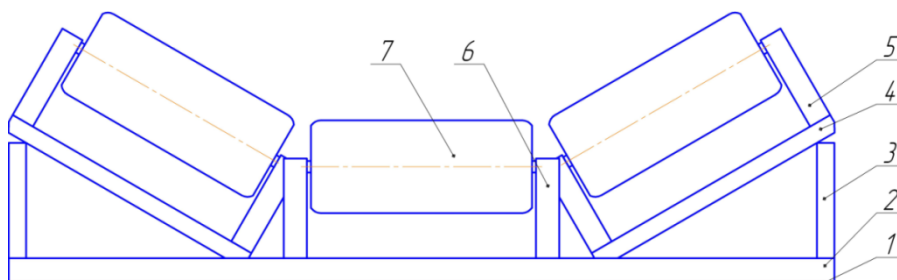


Рис. 2. Конструктивная схема желобчатой роlikоопоры:  
1 – опора; 2 – основание; 3 – стойка; 4 – подкос;  
5 – стойка с пазом для подкоса; 6 – стойка с пазом; 7 – ролик

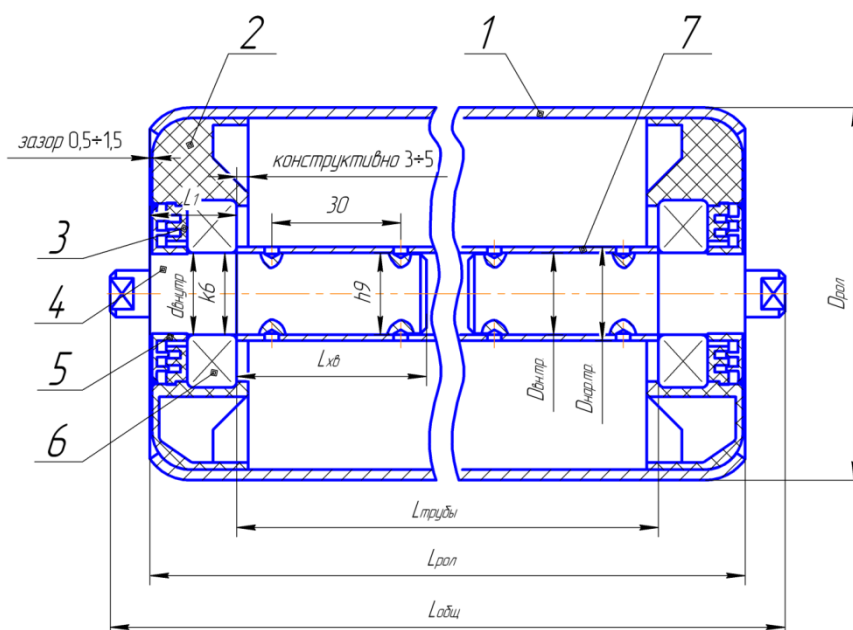


Рис. 3. Конструктивная схема ролика:  
 1 – обойма; 2 – ребрда; 3 – кольцо лабиринтное внутреннее;  
 4 – хвостовик; 5 – кольцо лабиринтное внешнее; 6 – подшипник; 7 – труба

ГОСТом [4] регламентируются следующие параметры конвейеров: ширина ленты и несущей конструкции, диаметр и длина ролика, т.е. только основные размеры транспортирующей ленты и роликкоопор, но не определяется конструкция роликкоопор. Поэтому вопрос рациональных параметров каждой детали этого узла в зависимости от требований, предъявляемых к конвейеру, и условий его эксплуатации является актуальным при проектировании конвейеров.

Для решения этой задачи необходимо разработать в системе автоматизированного проектирования конструкцию роликкоопор и провести силовой анализ при различных условиях эксплуатации. В настоящее время имеются технические и программные средства, основанные на методах трехмерного имитационного моделирования, позволяющие оптимизировать конструкцию [5]. Процесс оптимизации следует провести в рамках условий, обеспечивающих приближение к требованию равнопрочности всех деталей конструкции и критерия наименьших затрат при заданных условиях нагружения. В ходе имитационных экспериментов исследуется напряженно-деформированное состояние всей конструкции, а затем принимается решение по изменению параметров деталей с целью достижения выбранного критерия оптимальности. Для реализации такого подхода требуется перебор вариантов конструкции роликкоопоры и проведение имитационных экспериментов с каждым из инженерных решений.

Техническое задание (ТЗ) на проектирование включает основные технические характеристики проектируемого конвейера: ширину ленты, насыпную массу транспортируемого материала, диаметр ролика, длину конвейера, скорость движения ленты, эксплуатационные характеристики. На основании ТЗ и анализа существующих аналогов разрабатывается виртуальная конструкция роликкоопоры, которая представляет собой ее твердотельную 3D-модель. Этапы ав-

томатизированного проектирования осуществляются в следующей последовательности:

- создание параметрической трехмерной твердотельной модели ролика в системе пространственного моделирования;
- разработка расчетной схемы имитационного эксперимента в системе конечно-элементного анализа в соответствии с условиями работы ролика и проведение имитационного эксперимента в системе конечно-элементного анализа;
- анализ результатов имитационного эксперимента с целью определения путей модификации конструкции элементов ролика, обеспечивающих достижение заданного критерия оптимизации;
- изменение параметров элементов конструкции ролика и проведение последующего имитационного эксперимента с анализом его результатов в соответствии с заданным критерием оптимизации;
- проведение силового анализа с принятой конструкцией роликкоопоры в соответствии с заданным критерием оптимизации.

В рамках этого раздела САД-платформа «КОМПАС-3D» дает возможности создать и редактировать 3D-модели всех деталей и в итоге сформировать рабочие чертежи (рис. 2) с изображением необходимых проекций, сечений, разрезов, а также сборочные единицы.

На рис. 4–6 приведены трехмерные модели узлов и деталей, построенные на базе платформы «КОМПАС-3D». Интеграция средств САПР «КОМПАС-3D», САПР ТП «ВЕРТИКАЛЬ» и «ЛОЦМАН: PLM» позволяют реализовать сквозную интегрированную программно-информационную среду для повышения эффективности подготовки производства.

Математическое обеспечение геометрической модели роликкоопоры включает в себя набор формул для расчета параметров изделия.

Для наглядного представления состава изделия, облегчения сборки и разборки узлов разрабатывается каталог разнесенной сборки. Функционал программ САПР позволяет выполнить разнесение узлов конструкции на детали, при этом подузлы, входящие в сборку, могут быть вынесены одним элементом или также разнесены подетально. Требования к результату: наглядность разнесения и возможность быстрого редактирования. На заключительном этапе конструкторского раздела осуществляется оформление электронного каталога.

**Силовой анализ.** Инженерный анализ опирается на компьютерное моделирование и позволяет спрогнозировать поведение отдельных деталей и конструкции в целом как в рабочем режиме, так и в экстремальных условиях [5].

В рамках конструкторского раздела созданы твердотельные модели всех деталей. Прочностные расчеты можно выполнить непосредственно в САПР КОМПАС-3D, в состав которого входит модуль АРМ FEM, либо на базе платформы АРМ WinMachine, выполнив импорт геометрии моделей. Полный объем исследований, предоставляемых пользователю, достаточно широк, однако, как правило, в качестве первоначального этапа выполняется статический

расчет. В перечень возможных видов анализа входят следующие опции: статический расчет деталей и сборок, устойчивость и тепловые явления.

После определения вида конструкции роlikоопоры следует этап выполнения исследований напряженно-деформированного состояния всего изделия и его частей.

Силовой расчет ролика выполняем при помощи программы «Simulation», которая является приложением платформы «SolidWorks», а основания роlikоопоры – при помощи программы «APM WinStructure 3D». Результаты имитационных исследований представлены на рис. 7–9.

Внутренняя труба прямоугольного сечения, в которой просверливаются отверстия для сварки при сборке с хвостовиками, и реборды для установки подшипников являются деталями во многом определяющими надежную работу ролика. Анализ напряженно-деформированного состояния и определение запаса прочности именно этих деталей должен составлять основное содержание силового расчета этого узла. На рис. 7–8 представлены результаты, полученные в программе «Simulation Solid Works» в статическом случае при предельной нагрузке на ленту транспортера 1000 Н/м<sup>2</sup>.

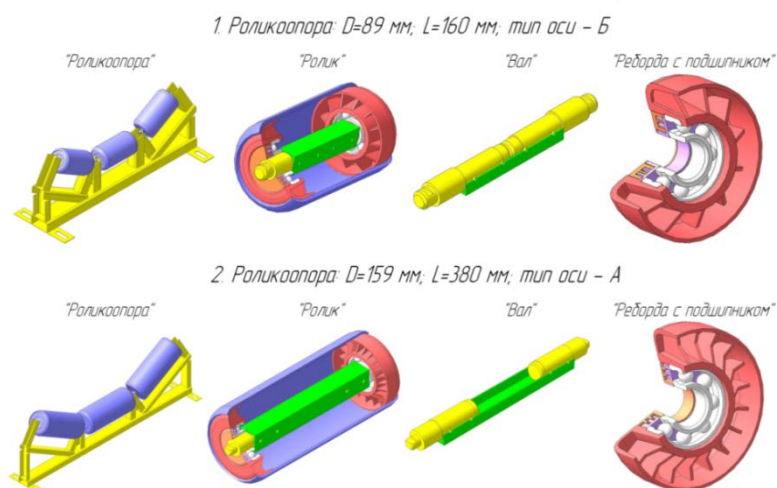


Рис. 4. Созданные модели узлов роlikоопоры

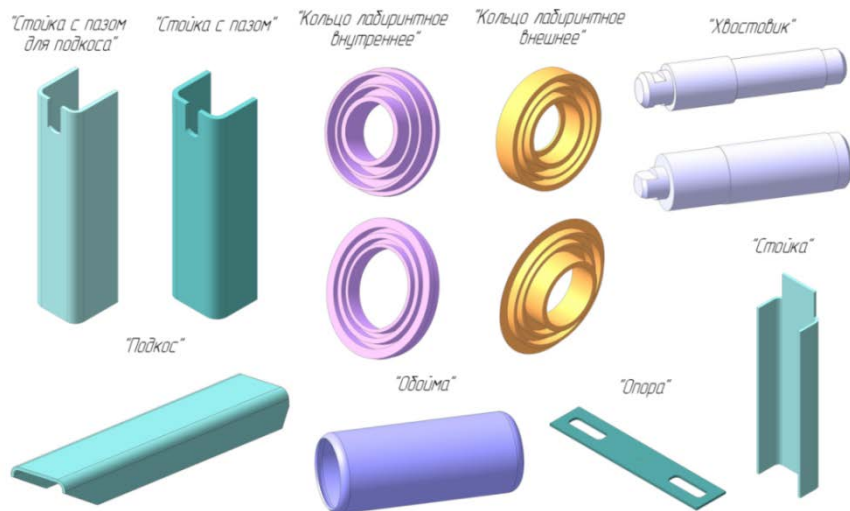


Рис. 5. Созданные модели деталей роlikоопоры

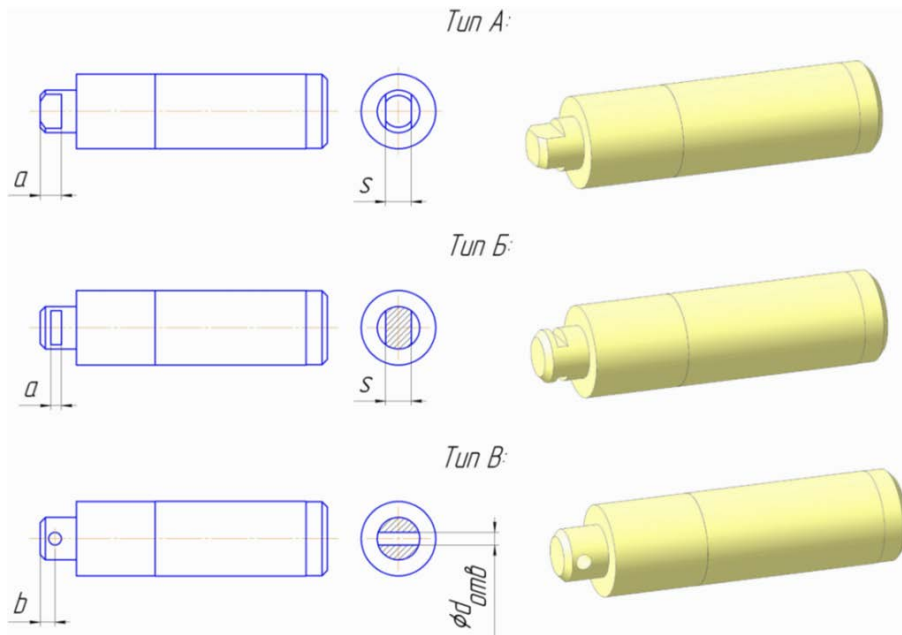


Рис. 6. Разновидности исполнения хвостовика

Распределение запаса прочности: Мин. коэффициент запаса прочности = 2.2

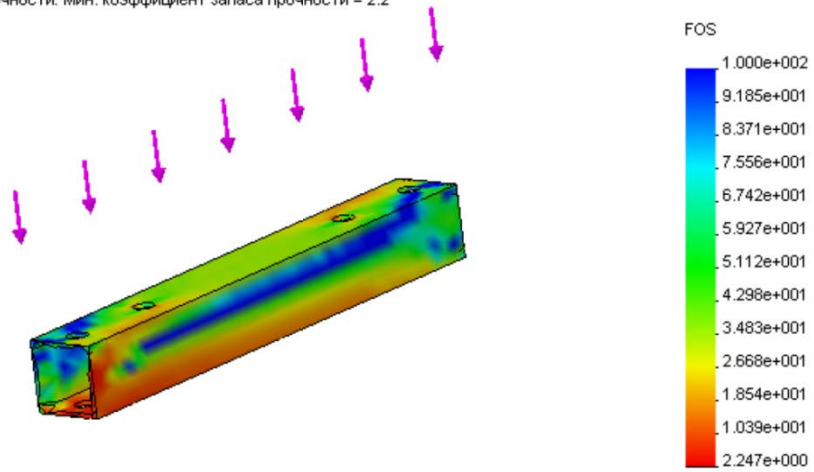


Рис. 7. Распределение запаса прочности трубы ролика

Распределение запаса прочности: Мин. коэффициент запаса прочности = 1.6

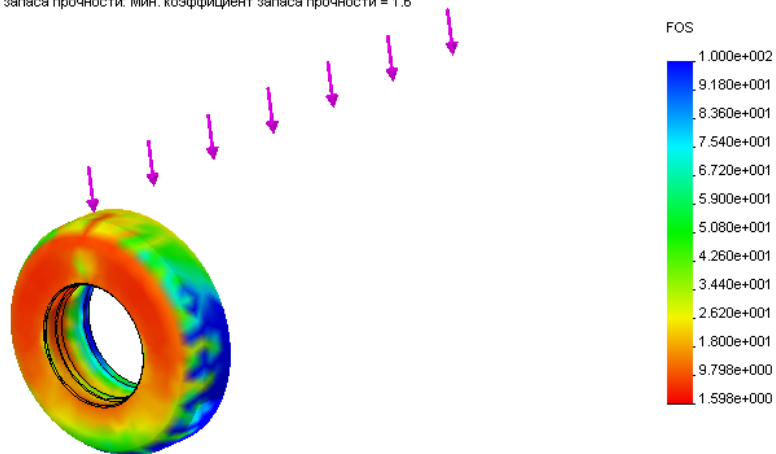


Рис. 8. Распределение запаса реборды ролика



Рис. 9. Стержневая модель основания роlikоопоры с заданными сечениями

Как показали исследования, при толщине стенки 2,5 мм минимальный коэффициент безопасности составляет величину  $\sim 2,2$ , следовательно, применение трубы данной толщины может обеспечить необходимую надежность при эксплуатации ролика. Аналогично проводим расчет других элементов конструкции, выбирая вариант решения, обеспечивающий реализацию принципа равнонадежности.

Для проведения расчета основания роlikоопоры на прочность в программе «APM WinStructure 3D» выполняем следующие действия: строим стержневую модель роlikоопоры; задаем поперечные сечения; задаем опоры для созданной конструкции; задаем внешние нагрузки, действующие на конструкцию.

Выбирая материал деталей, нагрузки, действующие на роlikоопору во время работы (рис. 9), фиксируем сборку в точках опоры. Конечно-элементный анализ в системе «APM WinStructure 3D» позволяет выявить опасные сечения и деформации, а также распределение запаса прочности по конструкции.

Добиваясь требуемых коэффициентов безопасности основания роlikоопоры и элементов ролика при условии, что напряжения и деформации не достигают критических величин, приходим к выводу, что спроектированная конструкция роlikоопоры отвечает необходимым требованиям безопасности.

Технологии 3D-проектирования и параметризация моделей позволяет создавать конструкции в короткое время, выполнять имитационные исследования напряженно-деформированного состояния с целью определения оптимальных параметров в соответствии с разработанной методикой.

### Заключение

Выполненные в данной работе исследования и разработки позволяют создавать рациональные конструкции роlikоопор ленточных конвейеров разнообразной конфигурации для конкретных условий их эксплуатации.

Решение этой задачи является результатом следующих работ:

- создание параметрических 3D-моделей, что позволяет оперативно создавать конструкторскую документацию для различных типов и размеров роlikоопор;
- разработки и апробации методики проведения имитационных исследований напряженно-деформированного состояния роlikоопор с целью определения их оптимальных конструктивных параметров.

### Литература

1. Булавин, В. Ф. Валидация САД-продуктов в малых предприятиях машиностроительного сектора / В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, В. В. Яхричев // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2017. – № 5 (325). – С. 64–72.
2. Шахмейстер Л. Г. Теория и расчет ленточных конвейеров / Л. Г. Шахмейстер. – Москва: Машиностроение, 1978. – 392 с.
3. Ануриев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. / В. И. Ануриев. – Москва: Машиностроение, 1980.
4. ГОСТ 22644-77. Конвейеры ленточные. Основные параметры и размеры. – Введ. 01.01.1980. – Москва: Госкомитет СССР по стандартам, 1988. – 5 с.
5. Алямовский, А. А. SolidWorks/COSMOSWorks: инженерный анализ методом конечных элементов / А. А. Алямовский. – Москва: ДМК Пресс, 2004. – 431 с.

V.V. Yakhrichev, V.F. Bulavin, A.S. Stepanov, N.S. Grigorev

### AUTOMATED DEVELOPMENT OF BELT CONVEYOR ROLLER SUPPORT

Belt conveyors are a common type of continuous conveying machines and are used to move bulk, lump or piece goods. The main advantages of the mechanism are high performance, simplicity of design, low material consumption and ease of use. Belt conveyors are characterized by reliability in operation at relatively low power consumption. The article presents a method of designing the optimal design of roller conveyor, which is one of the main assembly units created in the computer-aided design.

Design preparation of production, 3D-models, CAD-technologies.