

МАШИНОБУДІВНЕ ОБЛАДНАННЯ

УДКФ 37:681.3;658.512.011.56:681.3

**В.И. Аверченков, д.т.н., проф.
М.Ю. Рытов***Брянский государственный технический университет***АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕНТОЧНЫХ
КОНВЕЙЕРОВ С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ**

Рассмотрен подход к созданию автоматизированной системы параметрического проектирования принципиально нового, высокоэффективного и экономичного вида промышленного транспорта – ленточных конвейеров с подвесной лентой.

Введение. В Брянском инженерно-производственном центре "Конвейер" совместно с Брянским государственным техническим университетом создан принципиально новый высокоэффективный и экономичный вид промышленного транспорта – ленточный конвейер с подвесной лентой [1].

Основная часть. Разработанный конвейер с подвесной лентой фактически является гибридом обычного ленточного конвейера и рельсового транспорта (рис. 1).

Конвейер состоит из сварного металлического става 1, привода 2, натяжного 4 и приводного 3 барабанов. Став состоит из стоек, к которым с помощью кронштейнов 8 крепятся направляющие элементы 6, выполненные в виде замкнутых, вытянутых вдоль конвейера труб, расстояние между которыми выбрано так, чтобы обеспечить требуемую желобчатость ленты на всей длине конвейера. Конвейерная лента 5 с помощью гибких ленточек 11 и узлов крепления 7 прикрепляется к подвеске 10, основным элементом которой являются ходовые ролики 9 (в дальнейшем для сокращения применяется термин "ролик") с вогнутыми или цилиндрическими поверхностями катания. Ролики катятся по поверхности трубчатой направляющей, обеспечивая плавное перемещение ленты с грузом 12. При этом вблизи барабанов трубчатые направляющие 6 имеют отгибы в горизонтальной плоскости, позволяющие ленте в местах ее взаимодействия с барабанами принять плоскую форму.

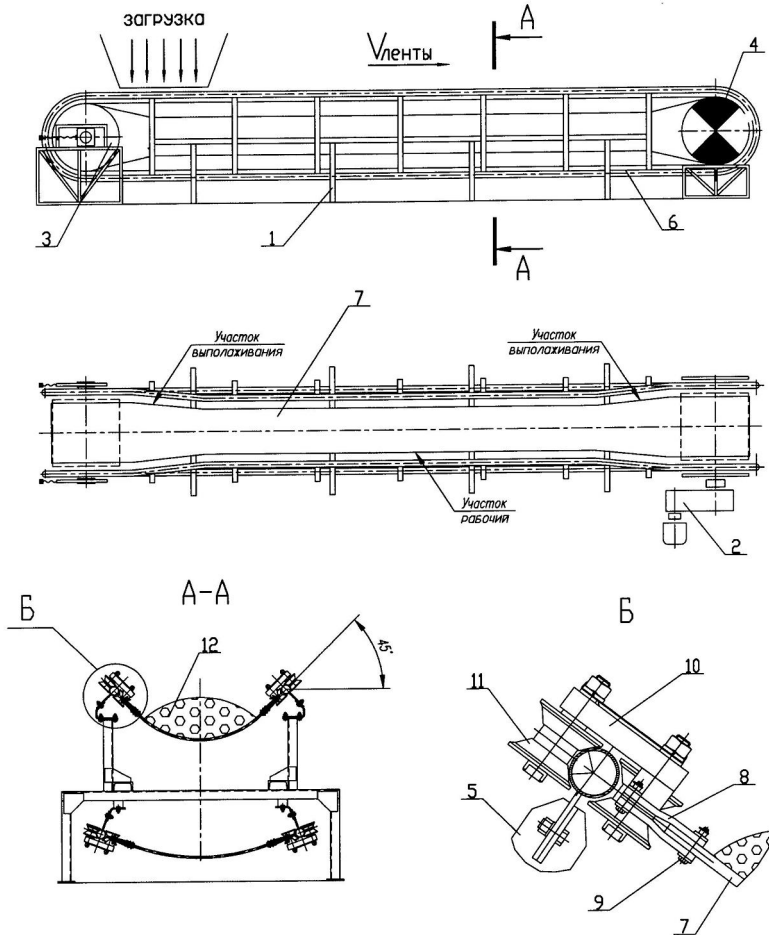


Рис. 1. Конвейер с подвесной лентой: 1 – став; 2 – привод; 3 – натяжной барабан; 4 – приводной барабан; 5 – лента; 6 – трубчатые направляющие; 7 – узел крепления; 8 – кронштейн; 9 – ролик; 10 – подвеска; 11 – гибкие «ленточки»; 12 – груз

Расчет и проектирование конвейера с подвесной лентой выполняется в две стадии. Первая – обобщенный приближенный расчет с целью определения общих технических параметров конвейера (расчетная производительность, мощность привода, ширина конвейерной ленты). Вторая стадия – подробный тяговый расчет и

комплексе проектирования с целью выбора и размещения всего комплекта оборудования. Кроме того, на этой стадии решаются задачи оптимизации конструкции конвейера.

Характерной особенностью процесса проектирования ленточного конвейера с подвесной лентой является необходимость рассмотрения большого количества их типов и типоразмеров применительно к конкретным условиям заказчика. Наиболее важным конструктивным типом конвейеров является их деление на горизонтальные, слабонаклонные и горизонтально-наклонные. При этом, в зависимости от заказа, любой из трех видов конвейеров может иметь длину от нескольких до сотен метров и различную ширину ленты. Поэтому основной проблемой, возникающей при постоянной сменяемости типоразмеров объектов проектирования, является минимизация трудоемкости и временных затрат на проектирование. Для решения данной проблемы на этапе конструкторской подготовки активно использовались системы автоматизированного проектирования.

Однако существующие системы автоматизированного проектирования конвейеров не дают возможности получать конструкторские чертежи проектируемого конвейера в результате своей работы, а лишь реализуют алгоритм, который представляет собой автоматизированный расчет ленточного конвейера. Его целью является выбор ширины ленты, тяговый расчет и определение мощности привода, выбор конвейерной ленты по критерию прочности [2].

Как показал анализ, при проектировании ленточных конвейеров с подвесной лентой с помощью современных САПР наиболее эффективными являются методы автоматизации проектирования, принадлежащие к классу типового вариантного проектирования.

Был предложен подход к созданию автоматизированной системы проектирования ленточных конвейеров с подвесной лентой на основе параметризации, которая в последние годы достаточно широко используется при выполнении проектно-конструкторских работ в машиностроении.

Под параметризацией в этом случае понимается многократное использование конструкторского чертежа изделия с возможностью изменения его основных параметров. При изменении основных параметров автоматически происходит изменение всех связанных с ним математическими или логическими выражениями остальных параметров чертежа. Таким образом, параметризация может стать хорошим инструментарием для решения задач типового проектирования, если при проектировании новых изделий за основу берётся уже

существующий проект и производится его корректировка — вводятся новые элементы, изменяются размеры, какие-то части изделия заменяются.

Эта процедура достаточно эффективно может быть реализована в системе параметрического проектирования T-FLEX CAD, которая была выбрана в качестве базы для разработки автоматизированной системы параметрического проектирования ленточных конвейеров с подвесной лентой.

Исходя из особенностей конструкции конвейера с подвесной лентой [1], автоматизированная система для его проектирования должна обеспечивать:

1. Все виды расчетов (геометрический, проверочный и тяговый) конструкций всех трех типов конвейеров.

2. Получение комплекта конструкторской документации на проектируемый тип конвейера, которая включает: чертеж общего вида, чертежи сборочных единиц, спецификации и деталировочные чертежи.

3. Техничко-экономическую оценку спроектированного варианта конструкции конвейера с подвесной лентой на основе расчета массы ленточного конвейера.

4. Хранение ранее спроектированных вариантов конструкций и возможность их редактирования.

В соответствии с этими требованиями была разработана общая структурно-функциональная схема автоматизированной системы параметрического проектирования конвейеров с подвесной лентой (рис. 2), представленная в виде совокупности расчетных, проектных модулей и различных видов информационных ресурсов, обеспечивающих эти виды процедур.

Ниже рассмотрено назначение и состав входящих в систему модулей.

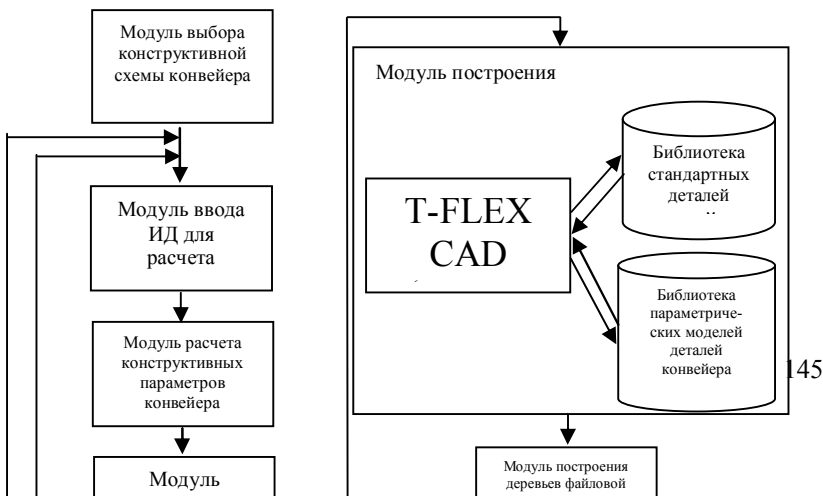


Рис. 2. Структурно-функциональная схема автоматизированной системы параметрического проектирования конвейеров с подвесной лентой

Модуль выбора конструктивной схемы. С помощью этого модуля в соответствии с типом трассы конвейера, указанным в техническом задании на проектирование, выбираются допустимые варианты схем конвейера с подвесной лентой трех типов – горизонтального, слабонаклонного или горизонтально-наклонного (рис. 3).

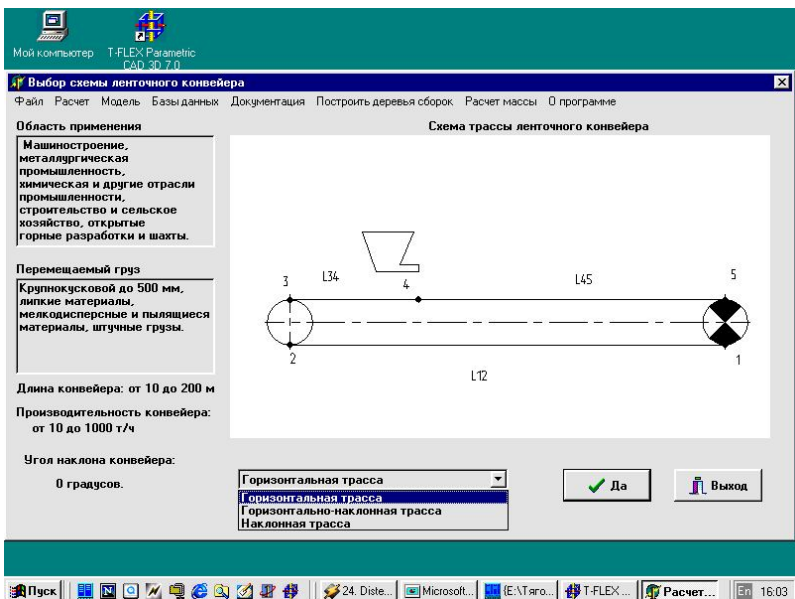


Рис. 3. Выбор конструктивной схемы конвейера

Каждый из допустимых вариантов схемы конвейера сопровождается описанием области применения и характеристикой транспортируемого груза. Помимо этого представлены интервалы возможной производительности и длины, а также максимальный угол наклона конвейера выбранного типа.

Модуль ввода исходных данных для расчета. Этот модуль предназначен для формирования исходной информации на проектирование конвейера. В качестве исходных данных на проектирование конвейера с подвесной лентой рассматриваются схема трассы, длина и характерные точки на схеме трассы ленточного конвейера, плановая производительность, скорость транспортирования, характеристика транспортируемого груза, наименование груза, шаг расстановки подвесок, масса одной подвески, массы вращающихся частей барабана, температура окружающей среды и частота вращения ротора электродвигателя (рис. 4).

Ввод исходных данных для расчета горизонтального конвейера

Длина конвейера, м

L12 =

L34 =

L45 =

Плановая производительность конвейера, т/ч

Масса одной подвески

Скорость транспортирования, м/с

Температура, град. Цельсия

Шаг расстановки подвесок, м

Наименование транспортируемого груза:

Масса вращающихся частей барабанов, кг

Характеристики транспортируемого груза

Плотность при свободном насыпании, т/м³

Угол естественного откоса в движении

Частота вращения ротора электродвигателя, мин⁻¹

Рис. 4. Ввод исходных данных для расчета

Модуль расчета конструктивных элементов конвейера. Этот модуль обеспечивает все виды расчетов (геометрический, тяговый и проверочный) выбранной схемы конвейера. Он сформирован на основе алгоритма расчета ленточного конвейера и включает базы данных цилиндрических редукторов, электродвигателей, натяжного и приводного барабанов и типов резинотканевых лент.

Информация баз данных, входящих в состав модуля, используется при формировании результатов расчетов, т. е. программа сопоставляет полученные значения с типовыми рядами, заложенными в базе данных, и выводит согласованные со стандартизованными значения рассчитанных параметров.

После завершения работы модуля предоставляется возможность просмотреть полученные результаты. В том случае, если результаты полностью удовлетворяют требованиям пользователя, происходит их экспорт в файл параметров (рис. 5).

Просмотр модели «Без имени» [гор.]

Исходные данные	Результаты расчетов
Длина конвейера, м <input type="text" value="50"/>	Диаметр барабанов, мм <input type="text" value="650"/>
L12 = <input type="text" value="50"/> м	Ширина ленты, мм <input type="text" value="1000"/>
L34 = <input type="text" value="0"/> м	Число подвесок <input type="text" value="50"/>
L45 = <input type="text" value="50"/> м	Марка электродвигателя <input type="text" value="AIP13256"/>
Производительность, т/ч <input type="text" value="500"/>	Мощность электродвигателя, кВт <input type="text" value="5,50"/>
Скорость транспортирования, м/с <input type="text" value="1"/>	Частота вращения вала электродвигателя, мин ⁻¹ <input type="text" value="1000"/>
Шаг расстановки подвесок, м <input type="text" value="1"/>	Марка редуктора <input type="text" value="Ц2У-200"/>
Масса одной подвески, кг <input type="text" value="6,5"/>	Передаточное отношение редуктора <input type="text" value="40,00"/>
Температура окружающей среды <input type="text" value="2"/>	Передаваемый редуктором момент, Н*м <input type="text" value="2000,00"/>
Наименование груза <input type="text" value="Окатыши"/>	Усилие в натяжном устройстве, Н <input type="text" value="6447,19"/>
Масса вращающихся частей барабанов, кг <input type="text" value="200"/>	Ход натяжного устройства, м <input type="text" value="1,00"/>
Плотность груза, т/м ³ <input type="text" value="2"/>	Мощность привода, кВт <input type="text" value="3,59"/>
Угол естественного откоса в движении <input type="text" value="20"/>	Макс. натяжение ленты при пуске конвейера, Н <input type="text" value="9653,16"/>
	Натяжение ленты в характерных точках конвейера, Н
	S1 = <input type="text" value="1796,16"/> S2 = <input type="text" value="2055,14"/> S3 = <input type="text" value="2242,98"/>
	S4 = <input type="text" value="2459,33"/> S5 = <input type="text" value="4849,63"/>

Схема трассы конвейера

Рис. 5. Результаты расчета

Модуль оптимизации. В качестве основного показателя экономической эффективности конвейера традиционно принимается его масса. Поэтому при проектировании конвейеров с подвесной лентой особенно важно получить оптимальное значение этого показателя.

Поиск оптимальных параметров по заданным критериям в системах автоматизированного проектирования осуществляется, зачастую, методами перебора, т. е. система выдает одно решение, затем, если полученный вариант не удовлетворяет заданным требованиям, – следующий вариант и т. д. Очевидно, что такой способ весьма трудоемок и неэффективен. Вследствие этого возникает проблема разработки модуля оптимизации в автоматизированной системе параметрического проектирования для поиска оптимального значения массы с позиции заданных критериев и ограничений.

Масса конвейера представляет собой сумму масс натяжного и приводного барабанов, и става. Основной деталью, от которой зависят размеры конструкции конвейера, являются барабаны конвейера. В зависимости от размеров его деталей изменяется и масса всего конвейера соответственно.

Учитывая это условие, в качестве критерия оптимизации была принята зависимость

$$M = f(D_6) \rightarrow \min,$$

где M – оптимальное значение массы; D_6 – диаметр барабана (параметр оптимизации).

Диаметр барабана определяется по следующей зависимости:

$$D_6 = k_a k_6 i,$$

где k_a , k_6 – поправочные коэффициенты; i – потребное количество прокладок тягового каркаса в ленте;

$$i = \frac{n S_{\max}}{[\sigma] B},$$

где n – коэффициент запаса прочности ленты; $[\sigma]$ – предел прочности на разрыв, Н/мм; S_{\max} – максимальное натяжение ленты, Н; B – ширина ленты, мм.

Ширина ленты B выбирается методом равномерного поиска в интервале $[B_{\min}, B_{\max}]$, который задается в соответствии с нормальным рядом ширин. Затем, в соответствии с полученным значением ширины ленты, происходит уточнение скорости транспортирования груза по зависимости, используемой для определения производительности конвейера с подвесной лентой. Данный метод реализован в модуле оптимизации автоматизированной системы параметрического проектирования конвейеров с подвесной лентой.

Модуль документирования. Модуль предназначен для обеспечения работы пользователя с комплектами конструкторской документации, разрабатываемыми с помощью автоматизированной системы параметрического проектирования конвейеров с подвесной лентой.

Данный модуль позволяет создать новый комплект документации и сохранить его после окончания работы в отдельном каталоге-архиве конструкторской документации. Кроме того, модуль документирования дает возможность выполнять редактирование, переименование и удаление комплектов конструкторской документации, хранящейся в архиве.

Модуль построения параметрической модели элементов конвейера. Модуль разработан с использованием средств системы T-FLEX CAD и включает формирование параметрических чертежей деталей, сборочных узлов, чертежа общего вида конвейера с

подвесной лентой (рис. 6), моделей в виде стандартных и оригинальных деталей, а также необходимых спецификации.

Основной проблемой, возникшей при параметризации элементов конвейера, явилось отсутствие методики проектирования конструкции машин данного типа, связанное с их новизной. Поэтому при создании автоматизированной системы параметрического проектирования конвейеров учитывалось конструктивное подобие отдельных узлов ленточного конвейера с подвесной лентой и соответствующих узлов обычных ленточных конвейеров (в частности, конструктивное подобие приводных и натяжных барабанов). На практике при проектировании последних широко используются размерные ряды основных узлов. На основании данных материалов были сформированы базы данных основных размеров натяжной и приводной станции, натяжного механизма и роликовых лап, после чего параметры элементов конструкции были связаны с соответствующими полями баз данных. Значения остальных параметров, принимаемых конструктивно, определялись с использованием существующих рекомендаций, описанных в методических материалах по проектированию машиностроительных объектов.

Основными параметрами, используемыми при пересчете модели общего вида конвейера, являются диаметр барабана и ширина ленты конвейера. Эти параметры импортируются из модуля расчета конструктивных элементов конвейера. Параметры, принимаемые конструктивно, задаются пользователем в редакторе переменных модели общего вида конвейера. К ним относятся:

- диаметры резьбы на крепежных элементах D_p ;
- номер швеллера стоек конвейера Num ;
- число стоек конвейера N_{st} ;
- число стоек в секции N ;
- длина секции става L_n ;
- параметры уголка опоры Num_ugol ;
- диаметр трубы направляющей D_{tr} ;
- толщина листовых элементов H_1 ;
- толщина ленты H_l ;
- ширина крепежных пазов H_p ;
- параметры подшипников B_p ;
- количество роликовых подвесок n_rol .

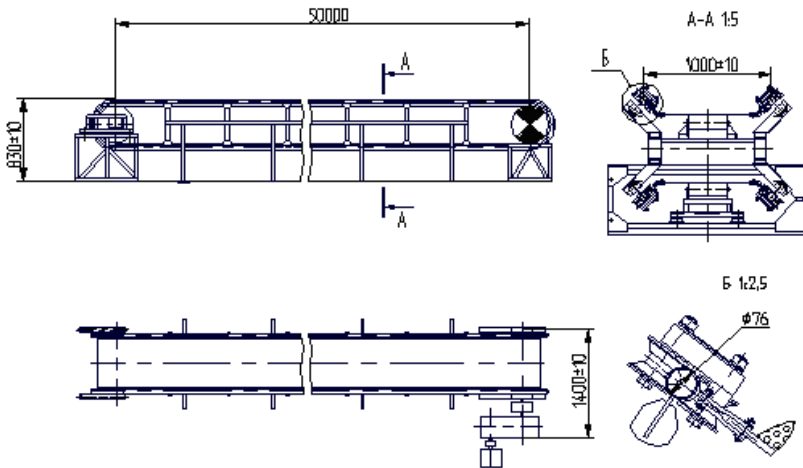


Рис. 6. Фрагмент сборочного чертежа общего вида ленточного конвейера с подвесной лентой

Модуль построения деревьев файловой структуры описания сборочных чертежей. Этот модуль предназначен для построения дерева файловой структуры описания сборочного чертежа главного вида изделия – иерархической файловой структуры параметрической модели.

Дерево сборочного чертежа главного вида в автоматизированной системе параметрического проектирования конвейеров с подвесной лентой строится в двух случаях:

- при работе с новой параметрической моделью изделия;
- внесение корректив в структуру уже существующей параметрической модели.

Построение дерева файловой структуры описания сборочного чертежа начинается с анализа структуры параметрической модели, созданной в T-FLEX CAD. На основе этого анализа происходит построение головной ветви сборочного чертежа и её потомков. В состав головной ветви входят сборочный чертеж общего вида и основные подборки. Затем происходит анализ структуры каждой подборки, составляющей чертеж общего вида. При этом выявляются сборки и детали, входящие в анализируемые ветви сборочного

чертежа. Этот процесс длится до тех пор, пока не будут раскрыты сборки всех уровней, входящих в сборочный чертеж главного вида.

На основе информации о составе дерева файловой структуры сборочного чертежа функционируют модули укрупненной оценки технико-экономических показателей и получения детализированных чертежей и спецификаций конвейера.

Модуль укрупненной оценки технико-экономических показателей конвейера. Данный модуль позволяет оценить затраты и основные технико-экономические показатели принятой конструкции конвейера. В качестве основного технико-экономического показателя традиционно принимается масса конвейера. Расчет массы конвейера предусматривает суммирование масс деталей, входящих в сборочные узлы, которые, в свою очередь, формируют общую конструкцию конвейера.

Исходной информацией для расчета массы конвейера является число деталей, входящих в состав сборочного чертежа. При построении сборочного чертежа возможны случаи, когда в одном чертеже содержится несколько одинаковых фрагментов. При подсчете массы происходит определение таких фрагментов пользователем с помощью специального интерфейса и принимается решение, какие фрагменты учитывать, а какие нет.

Масса конвейера рассчитывается в следующем порядке: вначале программа открывает файлы отдельных деталей и сохраняет в списке значения масс, вычисляемых автоматически системой T-FLEX CAD на основе их физико-геометрических параметров. Затем открываются файлы сборочных чертежей и вычисляется масса сборок, используя значения масс деталей и узлов, сохраненных системой в списке. Для подсчета масс стандартных деталей, на которые не предусмотрены детализированные чертежи, в редакторе переменных сборочного чертежа с подвесной лентой заложены расчетные формулы массы таких деталей. Таким образом, при изменении параметров стандартных изделий пересчет их масс автоматически осуществляется системой T-FLEX CAD.

Рассчитанные значения масс деталей и сборок выводятся в соответствующей графе основной надписи чертежа. Далее по специальным таблицам в соответствии со значением массы укрупнено определяется стоимость проектируемого образца конвейера с подвесной лентой. На основании этой информации пользователь принимает решение о целесообразности дальнейшего проектирования конвейера.

Модуль получения детализированных чертежей и спецификаций. Механизм получения детализированных чертежей системы T-FLEX CAD, на основе которой создана автоматизированная система параметрического проектирования конвейеров с подвесной лентой, не позволяет автоматически получать новые детализированные чертежи при изменении параметров сборочного чертежа. Для решения этой проблемы в разработанной системе создан универсальный модуль автоматического получения детализированных чертежей и спецификаций.

Данный модуль предназначен для получения полного комплекта конструкторской документации на проектируемый конвейер, кроме того, он позволяет, в случае необходимости, получить отдельные чертежи элементов конструкции конвейера.

Работа модуля получения детализированных чертежей разбита на несколько этапов.

На первом этапе программа загружает файловую структуру чертежей для выбранного типа конвейера. Далее происходит запуск системы T-FLEX CAD.

На втором этапе программа открывает файл сборочного чертежа общего вида и формирует список информации о фрагментах, включающий имя, количество и номер фрагмента, под которым он определен в сборочном чертеже.

Затем анализируется сформированный список с удалением избыточной информации и сведений о стандартных деталях. Далее производятся детализировка фрагментов, в которых параметры изменены, и закрытие файла сборочного чертежа. Аналогичные действия осуществляются над всеми чертежами, получившимися в результате детализировки, до тех пор, пока не останется ни одного открытого файла.

Все названные модули, за исключением модуля построения параметрической модели конвейера, разработаны в среде объектно-ориентированного программирования Delphi.

Разработанная автоматизированная система параметрического проектирования ленточных конвейеров с подвесной лентой дает возможность получать конструкторскую документацию на типовые конструкции, в которых при проектировании структура не меняется. Но наряду с этим в системе предусмотрена возможность внесения изменений в конструкцию типового изделия, на основе которой построена параметрическая модель. Они могут касаться как изменения конструкции деталей и узлов, входящих в сборку, так и изменения её структуры – добавления или удаления деталей-фрагментов, входящих в сборочный чертеж. Для этого в автоматизированной системе

параметрического проектирования предусмотрены модули, обеспечивающие наладку системы под новый вариант конструкции.

Кроме того, в автоматизированной системе параметрического проектирования ленточных конвейеров с подвесной лентой заложена возможность редактирования существующих и создания новых параметрических моделей конструкций изделий. На основе новых параметрических моделей возможно осуществить процесс проектирования нового изделия. Алгоритмы, заложенные в модули документооборота, построения деревьев файловой структуры описания сборочных чертежей, укрупненной технико-экономической оценки и получения детализовки, являются универсальными. Модуль расчета конструктивных параметров ленточного конвейера можно перепрограммировать и дополнить информацию в базе данных, входящей в его состав.

После завершения работы автоматизированной системы с полученным комплектом конструкторской документации, а также с чертежами, хранящимися в архиве, можно вести более детальную работу в системе T-FLEX CAD, внося необходимые, на взгляд пользователя, коррективы.

Внедрение автоматизированной системы параметрического проектирования ленточных конвейеров с подвесной лентой на этапе конструкторской подготовки производства показало возможность сокращения времени и трудоемкости проектирования этого вида машин. Так использование автоматизированной системы параметрического проектирования ленточных конвейеров с подвесной лентой при автоматизации конструкторской подготовки производства в Инженерно-производственном центре "Конвейер" позволило в более чем 5 раз сократить время проектирования конвейера с подвесной лентой КП ПЛ 10 для ОАО "Лебединский ГОК" (производительность 500 т/ч, длина – 50 м, ширина ленты – 650 мм) и значительно повысить качество получаемой конструкторской документации.

Вывод. Таким образом, предложенный подход создания систем автоматизированного проектирования на основе развития существующих промышленных систем и их интеграции с разработанными проектирующими модулями параметрического проектирования может быть использован при автоматизации проектирования различных видов изделий машиностроительного профиля.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Конвейеры с подвесной лентой / В.И. Аверченков, В.Н. Ивченко, М.Ю. Рытов и др. – М.: Машиностроение, 2004. – № 1. – 256 с.

2. Ленточные конвейеры в горной промышленности / В.А. Дьяков, Л.Г. Шахмейстер и др. / Под редакцией А.О. Спиваковского. – М.: Недра, 1982. – 349 с.

АВЕРЧЕНКОВ Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, академик Международной академии информатизации, г. Брянск (Россия).

Научные интересы:

– формализация методов технологического проектирования.

РЫТОВ М.Ю. – Брянский государственный технический университет.

Научные интересы:

– технологическое обеспечение качества машин.

Подано 1.09.2005