

Применение САI-системы PowerINSPECT совместно с портативной КИМ CимCore для контроля точности изготовления корпусов редукторов

Юлия Данилова, Анна Береснева, Алексей Бажин

Одной из главных составляющих конкурентоспособности является качество производимой продукции. В понятие качества входит множество аспектов, но одним из доминирующих является точность, – именно поэтому проблема обеспечения требуемой точности является сегодня одной из наиболее актуальных. В статье отражён опыт разработки методики контроля точности изготовления корпуса спироидного редуктора на базе Института механики ИжГТУ. Корпусы спироидных редукторов изготавливаются из различных литейных сплавов с последующей механической обработкой сопрягаемых поверхностей.

Эксплуатационные характеристики спироидных редукторов, в частности, применяемых в трубопроводной арматуре (ТПА), напрямую зависят от точности изготовления их корпуса, так как именно эта деталь определяет межосевое расстояние (МОР), межосевой угол (МОУ) и другие параметры взаимного расположения, которые оказывают непосредственное влияние на качество зацепления зубьев венца колеса и витков червяка спироидной пары. Конструктивно корпус типичного спироидного редуктора основан на сочетании двух полых цилиндров, в каждом из которых имеются группы посадочных поверхностей, предназначенных для установки колеса (рис. 1а) и подшипников опор червяка (рис. 1б). При этом, плоскость разъема корпусных деталей может проходить как по оси червяка, так и по присоединительной плоскости фланца, соединяемого с арматурой (как в рассмотренном ниже варианте на рис. 1).

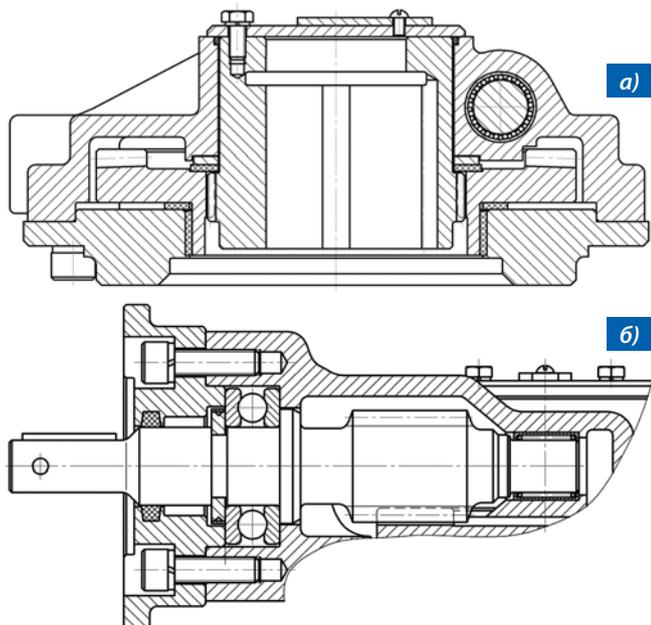


Рис. 1. Типовая конструкция узла колеса (а) и узла червяка (б) спироидного редуктора ТПА

Корпус спироидного редуктора содержит большое количество поверхностей, выполняющих функции основных и вспомогательных конструкторских баз. От базирующих признаков поверхностей во многом зависят точностные требования к ним. Как правило, размеры конструктивных элементов корпусов спироидных редукторов изготавливаются по квалитетам с 8-го по 14-й, а шероховатость поверхностей

Ра 1,6–6,3. Технические требования связанные с точностью, а именно допуски отклонений размеров, формы и взаимного расположения поверхностей и осей, которые предъявлены к корпусу редуктора (рис. 2) можно условно разделить на четыре группы:

- указанные к комплекту основных конструкторских баз (диаметральный размер, допуски плоскостности и круглости, а также позиционный допуск для группы отверстий);
- обеспечивающие точность спироидной передачи (расстояние между осями, определяющими положение колеса и червяка (МОР), отклонение от параллельности общей оси подшипниковых расточек относительно базовой плоскости (МОУ) и расстояние между ними);
- обеспечивающие работоспособность подшипниковых узлов (допуски линейных и диаметральных размеров, допуски соосности, цилиндричности и торцевого биения);
- обеспечивающие собираемость редуктора с другими узлами ТПА (позиционный допуск, соосность, радиальное биение, параллельность).

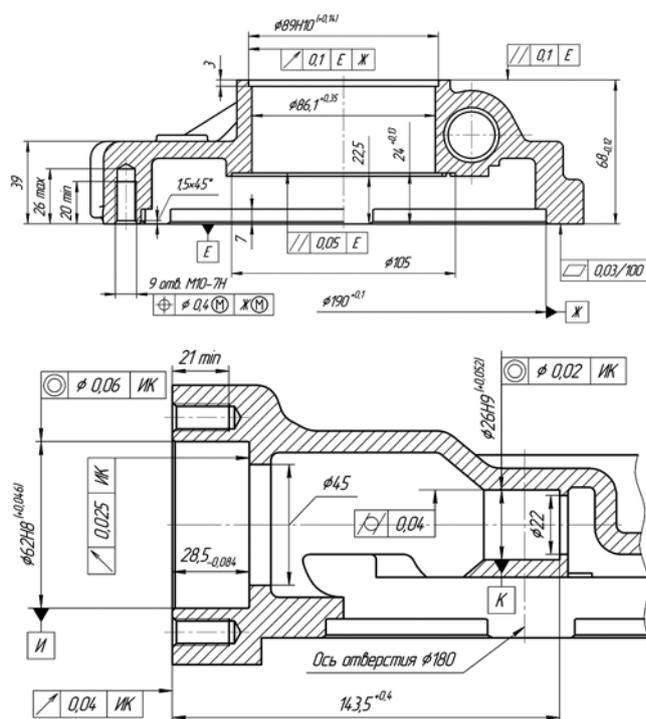


Рис. 2. Типовые требования точности к корпусу спироидного редуктора ТПА

Традиционные методы контроля точности корпусных деталей основаны на использовании специальных оправок и широкого спектра универсального измерительного инструмента – индикаторных нутромеров, микрометрических и штангенинструментов, а также, штативов с индикаторными головками различных типов (рис. 3). Выполнение измерений ручным инструментом очень трудоемко и занимает много времени. Кроме того, метролог должен обладать достаточно высокой квалификацией.



Рис. 3. Реализация традиционной схемы измерения межосевого расстояния в корпусе спироидного редуктора с использованием оправки

Типовой корпус спироидного редуктора, как правило, имеет труднодоступные для контроля внутренние полости (рис. 2). В рассматриваемом случае использование традиционных средств измерений затруднено из-за наличия промежуточной опоры червяка, расположенной на значительном расстоянии от внешнего торца. При измерении таких параметров как МОР и МОУ с целью материализации общей оси расточек под подшипники используются специальные оправки, которые чаще всего устанавливаются в корпус с небольшим зазором, что создает дополнительную погрешность измерений связанную с перекосом оси оправки.

Сложная форма корпуса спироидного редуктора также приводит к тому, что традиционные методы не позволяют измерить все заданные конструктором допуски. Например, традиционными методами невозможно или проблематично измерить такие параметры, как:

- позиционное отклонение расположения резьбовых отверстий;
- торцевое биение внутренних поверхностей;
- цилиндричность внутренней расточки под подшипник;
- соосность расточек относительно их общей оси.

За последнее десятилетие широкое распространение получили портативные КИМ типа "рука", работающие совместно со специализированными САИ-системами. Такие аппаратно-про-



Рис. 4. Корпус спироидного редуктора, установленный и закрепленный на плите (а) для измерения на КИМ CimCore Infinite 2.0 (б)

граммные комплексы позволяют осуществлять измерения гораздо быстрее и полностью автоматизировать обработку результатов. Разработанная авторами методика измерения корпусных деталей спироидных редукторов с использованием портативной КИМ и САИ-системы PowerINSPECT, позволяет избежать большинства проблем, возникающих при измерении традиционными методами.

За основу для работы в САИ-системе берется теоретическая 3D-модель изделия с точным математическим описанием поверхностей. САИ-система PowerINSPECT позволяет без ошибок импортировать САД-модели практически из всех популярных форматов данных, включая CATIA, Inventor, Pro/ENGINEER, Parasolid, IGES, STEP и многих других.

По сравнению с традиционными методами, применение КИМ и САИ-системы позволяет достичь целого ряда существенных преимуществ, перечисленных ниже.

Во-первых, можно выполнить точное совмещение измерительных и конструкторских баз без их реальной материализации (рис. 5), поэтому проблема погрешности базирования при измерениях на КИМ минимальна.

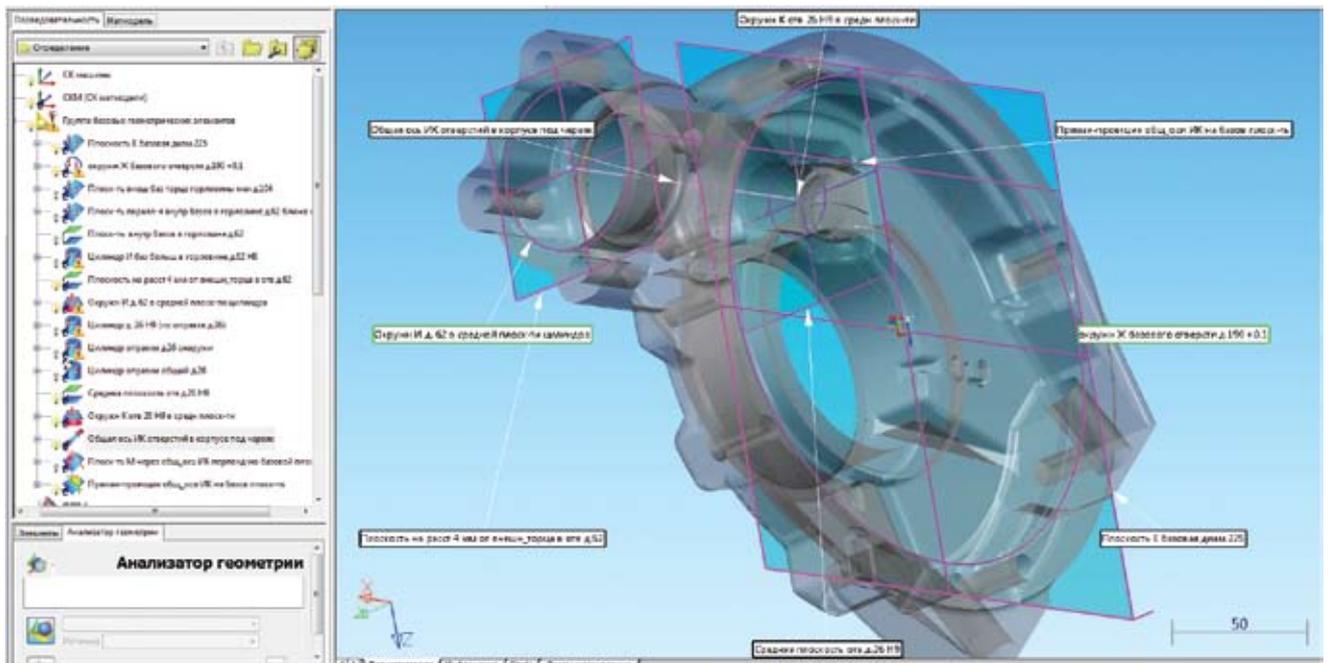


Рис. 5. Результат совмещения систем координат 3D-модели и КИМ по базовым элементам корпуса в САИ-системе PowerINSPECT

Во-вторых, любой достаточно сложный план измерений изделия в САI-системе требует тщательной проработки и существенных затрат времени только для первой детали из партии, при измерении же каждой последующей детали время затрачивается только на снятие координат точек (от нескольких секунд до нескольких минут для объектов сложной конфигурации). При этом вся последующая обработка данных происходит автоматически.

В-третьих, в процессе измерения на КИМ можно получить неограниченно большое множество координат точек поверхностей, а затем использовать их для описания идеальных геометрических поверхностей (плоскостей, цилиндров, сфер, конусов и т. д.) и осей при помощи встроенных в САI-систему алгоритмов. Рациональный выбор алгоритма построения геометрического образа позволяет минимизировать влияние погрешности формы на результат измерений. В САI-системе PowerINSPECT реализовано четыре алгоритма построения цилиндрических поверхностей и окружностей по координатам измеренных точек:

- “Наименьший квадрат” – построенный цилиндр расположен так, чтобы сумма квадратов расстояний между его точками и точками реальной поверхности была минимальна;
- “Максимальная вписанная” – построенный цилиндр эквидистантен к среднему цилиндру и содержит точки реальной поверхности, наименее удаленные от оси;
- “Минимальная описанная” – построенный цилиндр эквидистантен к среднему цилиндру и содержит точки реальной поверхности, наиболее удаленные от оси;
- “Минимакс” – строится поверхность, расположенная на одинаковом расстоянии от “минимальной описанной” и “максимальной вписанной”.

И наконец, в-четвертых, САI-система PowerINSPECT при помощи встроенных алгоритмов геометрических построений может автоматически вычислять погрешности расположения и формы поверхностей, такие например, как отклонения от цилиндричности, от плоскостности, от соосности или от симметричности, которые традиционными средствами измеряются с большими методическими погрешностями или не могут быть измерены в принципе.

Тем не менее, при использовании КИМ контактного типа с ручным управлением могут возникать проблемы. Одним из существенных факторов, негативно влияющих на результат измерений, является непостоянство скорости и усилия касания поверхности измерительным щупом. Это вносит в результаты измерений случайную погрешность, которая зависит от конкретной модели оборудования и квалификации оператора.

Количество точек, по которым строится некая поверхность, влияет на точность измерения размеров этой поверхности, так как случайная погрешность, возникающая при снятии координат одной точки может частично уравновеситься погрешностью при снятии координат другой точки. Для исследования этой закономерности с использованием КИМ CimCore Infinity 2.0 было проведено несколько серий многократных измерений окружности цилиндрического отверстия диаметром 62 мм (отверстие под подшипник). Анализ полученных результатов (рис. 6) показал следующее: при использовании алгоритмов “Наименьший квадрат” или “Минимакс” для построения окружности достаточно уже 6-ти или 7-ми точек, чтобы отклонение размера от среднего стабилизировалось на уровне сопоставимом с заявленной точностью КИМ. Следовательно, дальнейшее увеличение количества точек для пос-

троения окружности отверстия нецелесообразно. По предварительным данным, при измерениях цилиндрической поверхности стабилизация погрешности начинает проявлять себя приблизительно на 20-й точке. Еще одним полезным результатом обработки накопленных статистических данных является вывод о том, что применяемый в PowerINSPECT алгоритм построения цилиндрических поверхностей “Минимакс” приводит к наилучшей сходимости результатов при минимальном количестве точек.

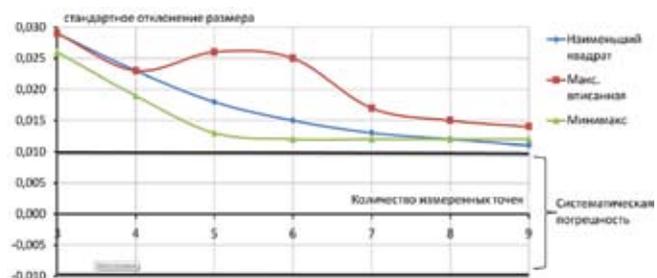


Рис. 6. Зависимость величины стандартного отклонения (СКО) от количества измеренных точек окружности и алгоритма её построения

Особо отметим, что современные стационарные КИМ с ЧПУ обеспечивают постоянство измерительного усилия и скорости касания щупом измеряемой поверхности, поэтому выявленные закономерности уменьшения погрешности нельзя распространять на КИМ с ЧПУ без дополнительных исследований.

САI-система PowerINSPECT позволяет автоматизировать генерацию типовых отчетов о проделанных измерениях (рис. 7). Форму отчета можно адаптировать под стандарты конкретного предприятия. Автоматическая генерация отчетов на основе предварительно заданной последовательности измерений позволяет формализовать процесс контроля точности и сохранять результаты с целью дальнейшего выявления причин возникновения отклонений.

| Группа определения МОР и МОУ | | | | | | |
|--|--------|--------|---------|------------|------------|--------|
| МОР (общая ось под червяк) (Опорные элементы: Прямая-проекция общ. оси ИК на базов. плоск-ть, окруж Ж базового отверстия д.190 +0,1; Центр) | | | | | | |
| Расстояние | В.отк. | Н.отк. | Номинал | Измеренный | Отклонение | Ошибка |
| | 0,050 | -0,050 | 60,000 | 59,961 | -0,030 | - |
| МОУ (общая ось отв под червяк) Параллельность Условие выполнено | | | | | | |
| Элемент: Общая ось ИК отверстий в корпусе под червяк Условие: RFS | | | | | | |
| Первичный элемент: Плоскость E базовая diam.225 Условие: RFS | | | | | | |
| Результат: Допуск: 0,050 Откл. + бонус: 0,050 Измерено: 0,001 | | | | | | |
| Паралл базов плоскостей в горловине Параллельность Условие выполнено | | | | | | |
| Элемент: Плоск-ть паралл-я внутр базов в горловине д.62 ближе на 9,5 мм Условие: RFS | | | | | | |
| Первичный элемент: Плоск-ть внеш баз торца горловины max д.104 Условие: RFS | | | | | | |
| Результат: Допуск: 0,050 Откл. + бонус: 0,050 Измерено: 0,012 | | | | | | |
| Раст 42+/-0,05 в отв д.26 (Опорные элементы: Плоскость E базовая diam.225, Окруж К отв 26 Н9 в средн.плоск-ти; Центр) | | | | | | |
| Расстояние | В.отк. | Н.отк. | Номинал | Измеренный | Отклонение | Ошибка |
| | 0,050 | -0,050 | 42,000 | 41,829 | -0,171 | -0,121 |
| Раст 42+/-0,05 в отв д.62 (Опорные элементы: Плоскость E базовая diam.225, Окруж И д. 62 в средней плоск-ти цилиндра; Центр) | | | | | | |
| Расстояние | В.отк. | Н.отк. | Номинал | Измеренный | Отклонение | Ошибка |
| | 0,050 | -0,050 | 42,000 | 41,830 | -0,170 | -0,120 |

Рис. 7. Фрагмент отчета, созданного САI-системой PowerINSPECT

В качестве заключения хотелось бы особо отметить широкие возможности и удобство использования портативной КИМ CimCore Infinite 2.0 и САI-системы PowerINSPECT для решения разнообразных инженерных и научных задач.

Подробнее о PowerINSPECT см. www.powerinspect.com/ru



Использование САМ-системы FeatureCAM в производственном участке Pier 9 корпорации Autodesk

В сентябре 2013 года корпорация Autodesk открыла в г. Сан-Франциско (США) производственный участок площадью 2500 кв.м, основной задачей которого является формирование концепции развития собственных программных решений для перспективных методов аддитивного производства. Цех оснащен современными установками для быстрого прототипирования, 3D-принтерами, многоосевыми станками с ЧПУ и другим промышленным оборудованием. Примечательно, что здание цеха расположено непосредственно на 9-м пирсе бывшего порта, находящегося в нескольких минутах ходьбы от офиса Autodesk в деловом центре Сан-Франциско. Благодаря своему местоположению, новый производственный участок Autodesk получил известность под названием Pier 9 (далее Пирс 9).

“Пирс 9 предоставляет нам очень интересные возможности, поскольку именно здесь разрабатываемые Autodesk программные решения для дизайна и конструирования используются совместно с потрясающим промышленным оборудованием”, – объясняет Директор по стратегическим разработкам Autodesk Гонзало Мартинес (Gonzalo Martinez), – “Один из этажей нашего производственного подразделения целиком занят оборудованием для аддитивного производства, плюс у нас имеются цех металлообработки и деревообрабатывающий участок. Одна из главных составляющих концепции работы этого предприятия – экспериментальное производство. Сотрудники Пирс 9 имеют доступ ко всем разрабатываемым Autodesk решениям – как к программному обеспечению, так и к оборудованию, – чтобы исследовать весь спектр задач, которые они способны выполнять.”

Металлообрабатывающий цех Пирс 9 оснащен несколькими станками с ЧПУ, в том числе пятиосевым фрезерным станком DMS и многозадачным токарно-фрезерным обрабатывающим центром Mori Seiki. Разработка управляющих программ для таких многоосевых станков с ЧПУ – непростая задача, требующая использования достаточно совершенной САМ-системы. Корпорация Autodesk остановила свой выбор на САМ-системе FeatureCAM (разработка компании Delcam), предназначенной для программирования токарной, токарно-фрезерной, фрезерной и электроэрозионной обработки. Отметим, что в мае 2014 года САМ-система FeatureCAM успешно прошла сертификацию по программе Autodesk



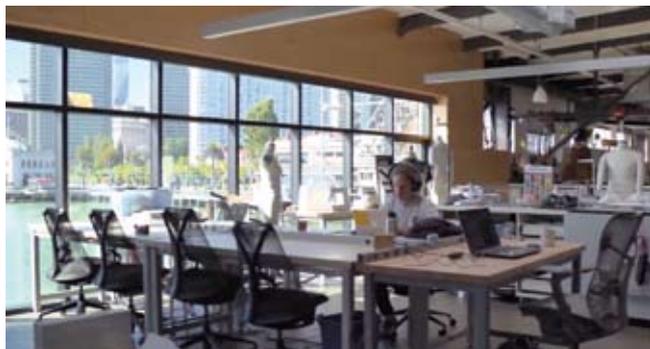
Inventor Certified Application Program для использования совместно САМ-системой Inventor 2015 (разработка Autodesk).

Благодаря возможности автоматического распознавания типовых конструктивно-технологических обрабатываемых элементов и встроенной базы знаний рекомендуемых параметров обработки, FeatureCAM обладает исключительно высокой степенью автоматизации разработки управляющих программ, что позволяет даже начинающим программистам-технологам быстро разрабатывать в этой САМ-системе надежные управляющие программы для сложных видов пятиосевой обработки. Реализованные в FeatureCAM высокопроизводительные стратегии и методы фрезерной обработки позволяют не только добиться высокой эффективности управляющих программ, но и обеспечивают качественную обработку на реальном станке с первого раза.

САМ-система FeatureCAM (www.featurecam.com/ru) унаследовала в себе множество высокоэффективных стратегий обработки из PowerMILL – флагманской САМ-системы Delcam, предназначенной для программирования сложных видов многоосевой фрезерной обработки. Благодаря этому в FeatureCAM появились, например, высокоэффективные стратегии обработки на основе сглаженных траекторий инструмента, в том числе, трохoidalная обработка, а также новейшая запатентованная Delcam стратегия Vortex (предназначенная для высокопроизводительной черновой выборки материала).

Реализованные в FeatureCAM стратегии фрезерной обработки обеспечивают автоматическую генерацию максимальной сглаженной траектории инструмента, за счет чего предотвращаются резкие изменения направления движения инструмента. Сглаженные траектории позволяют снизить динамические нагрузки на станок и достичь высокой фактической скорости подачи на станке, так как современные стойки стан-



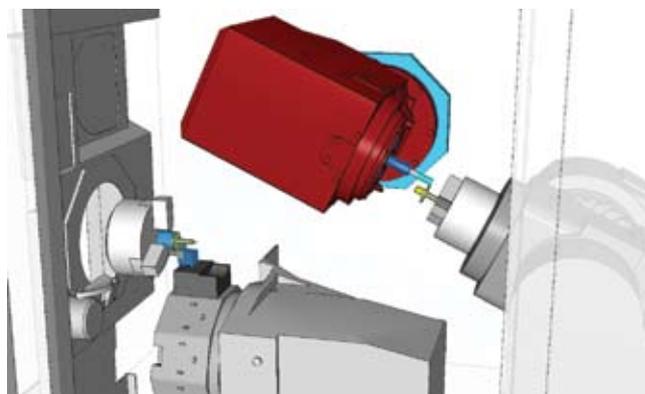


ков с ЧПУ анализируют буфер команд и при необходимости автоматически снижают скорость подачи (вплоть до полного останова) перед резкими изменениями в траектории инструмента. Стабильная нагрузка на инструмент способствует повышению его срока службы и уменьшает износ оборудования. В CAM-системе имеется также большой выбор методов для подводов, отводов и переходов, повышающих эффективность управляющих программ в целом.

В процессе генерации управляющей программы FeatureCAM оперирует точной 3D-моделью остатка материала, что дает возможность использовать в качестве заготовки трехмерную STL-модель произвольной формы. Полная 3D-модель остатка материала позволяет существенно сократить время обработки на станке за счет отсутствия в управляющей программе ненужных перемещений на рабочих подачах по воздуху (отсутствует так называемое резание воздуха). После каждой операции пользователь может сохранять текущую 3D-модель остатка материала с целью ее последующего использования в проекте наравне с другими геометрическими элементами, в том числе твердотельной CAD-моделью, вспомогательными поверхностями, ограничивающими контурами и направляющими кривыми. Использование промежуточных 3D-моделей остатка материала дает возможность максимально точно контролировать пространственные границы области обработки и тем самым избежать ненужного резания воздуха.

Возможности Пирс 9 произвели огромное впечатление на инженера компании Delcam Джереми Малана (Jeremy Malan), выполнявшего внедрение FeatureCAM у заказчика. «Очень редко можно встретить предприятие, выйдя из цеха которого можно насладиться видом на залив, особенно, если производство оснащено столь современным оборудованием», – объяснил он.

«В Пирс 9 оказалось достаточно много сотрудников впервые приступивших к изучению методов разработки управляющих программ для станков с ЧПУ, поэтому для них оказалась очень полезна простота использования FeatureCAM, ведь именно эта CAM-система является одной из самых легких в



освоении. При помощи FeatureCAM даже новичок способен очень быстро разобраться в методах распознавания, задания и обработки конструктивно-технологических элементов на станках с ЧПУ», – добавил г-н Малан.

«Мы высоко оценили возможности FeatureCAM, тем более, что Autodesk всегда специализировалась на разработке ПО для конструирования, визуализации и компьютерной 3D-симуляции, но мы не были полностью вовлечены в процесс изготовления продукции», – сказал г-н Мартинес, – «Использовать FeatureCAM оказалось очень выгодно потому, что эта CAM-система способна импортировать файлы из всех разрабатываемых Autodesk приложений и генерировать управляющие программы для всех наших механообрабатывающих станков.»

Наличие постпроцессоров для широкого спектра станков с ЧПУ и возможность их доработки под конкретный тип стойки всегда являлись одним из ключевых преимуществ FeatureCAM. В число поддерживаемых постпроцессоров входят такие популярные серии станков, как DMG CTX и GMX, Doosan Puma MX и TT, Mazak Integrex ST, Nakamura NTX и NTJX, Okuma Macturn и многие другие.

«Сейчас мы приступаем к тестированию FeatureCAM в tandem с самым сложным из имеющихся у нас станков – токарно-фрезерным обрабатывающим центром Mori-Seiki», – заявил г-н Мартинес. Новейшая 2015-я версия FeatureCAM позволяет выполнять полную 3D-симуляцию и постпроцессирование управляющих программ для обрабатывающего центра Mori Seiki NTX 1000. Этот станок, имеющий нижнюю револьверную головку и приводную В-ось, оснащен поворотным противопинделем. Пользователь может полностью контролировать угол наклона противопинделя (дополнительная ВW-ось), что дает возможность осуществлять перехват детали и выполнять одновременную обработку в шпинделе и противопинделе. Все необходимые циклы синхронизации, в том числе для нижней револьверной головки, CAM-система добавляет в управляющую программу автоматически. «FeatureCAM позволяет управлять сразу всеми осями станка, и мы должны быть абсолютно уверены, что он будет работать правильно и не произойдет каких-либо столкновений», – добавил г-н Мартинес.

«С первого дня совместной работы мы получаем от компании Delcam первоклассную техническую поддержку. Мы очень довольны тем, что начали сотрудничество именно с Delcam, – мы высоко ценим не только предлагаемые ею технологии, но и наши партнерские взаимоотношения. Специалисты из Delcam обладают превосходной квалификацией, что делает наше вхождение в мир механообработки беспрепятственным», – уверен г-н Мартинес.

Чтобы узнать больше о том, как в корпорации Autodesk применяется CAM-система FeatureCAM, посмотрите видеоролик на видеосайте DelcamTV: www.delcam.tv/pier9

