

УДК 621.65.07 (629.5.032.1)

ОПЫТ СОЗДАНИЯ СКВОЗНОГО ЦИКЛА ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОНЕНТОВ НАСОСНОГО И СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ГРУППЕ КОМПАНИЙ «КОНАР»

А. В. Канивец

Руководитель отдела САПР АО «КОНАР» (Россия, г. Челябинск), kanivets.aleksandr@konar.ru

Е. Г. Бодров

Технический директор АО «КОНАР» (Россия, г. Челябинск), bodrov.evgeniy@konar.ru

П. Е. Ишмулкин

Специалист отдела САПР АО «КОНАР» (Россия, г. Челябинск), ishmulkin.pavel@konar.ru

Приведены некоторые результаты создания в АО «КОНАР» и ООО «БВК», входящих в группу компаний «КОНАР», сквозного цикла подготовки производства в части автоматизации конструкторской и технологической подготовки производства, инженерного анализа и контроля качества для компонентов насосного и судового оборудования с применением современных автоматизированных систем.

Ключевые слова: CAD, CAM, CAE, CAI, PLM, центробежный насос, рабочее колесо, винторулевая колонка, лопасть гребного винта.

Цель создания сквозного цикла подготовки производства

Для перехода от выпуска крепежных деталей, трубопроводной арматуры и металлоконструкций для нефтегазовой промышленности к выпуску компонентов насосного (рис. 1) и судового оборудования (рис. 2) в группе компаний «КОНАР» потребовалось не только создать производственные площадки, оснащенные современным оборудованием, но и начать процесс создания сквозного цикла подготовки производства для решения все более усложняющихся задач, возникающих на различных стадиях жизненного цикла изделий.

Сквозной цикл подготовки производства позволит всем заинтересованным участникам на всех этапах жизненного цикла изделия организовать коллективный процесс создания и поддержки актуальности взаимосвязанных инженерных данных по изделиям, а также потребление этих данных из единого источника, что в конечном итоге должно привести к снижению временных и материальных издержек и повышению конкурентоспособности изделий.

Конструкторская подготовка производства

Применение современных CAD-систем позволяет определить облик и функционал будущего изделия, тем самым подготовить необходимую исходную информацию для последующих этапов жизненного цикла изделий.

Не вдаваясь в детали этапа подготовки теоретического расчета и всех этапов, предшествующих ему, перейдем к непосредственному проектированию, выполненному на примере рабочего колеса магистрального насоса.

На основании теоретических расчетных данных, с использованием CAD-системы Creo Parametric разрабатывается 3D-модель теоретической геометрии и теоретический чертеж (рис. 3) для описания профиля лопатки, рабочего канала и ступицы рабочего колеса.

Путем наследования теоретической геометрии разрабатывается 3D-модель базовой геометрии детали (рис. 4), в которой создается только необходимая геометрия, определяющая общий вид и размеры окончательной детали без учета литейной технологии.

Путем наследования данных 3D-модели базовой геометрии детали разрабатывается 3D-модель

базовой геометрии отливки (рис. 5), в которой добавляются конструктивные элементы литейной технологии — припуски, уклоны и скругления.

С использованием специализированного модуля Tool Design Option в CAD-системе Creo Parametric разрабатывается 3D-модель сборки основной литейной формы (рис. 6), включая: отливку, литейные стержни, прибыли, подприбыльники, экзотермические вставки, керамическую литниковую систему, опоки.

На основе 3D-модели сборки основной литейной формы формируется 3D-модель результата литья (рис. 6), чтобы рассчитать металлоемкость отливки.

Путем наследования данных 3D-модели базовой отливки и элементов результата литья разрабатывается 3D-модель и чертеж отливки (рис. 7), из которой исключаются элементы литейной технологии, которые в последующем будут удалены газовой горелкой перед черновой обработкой.

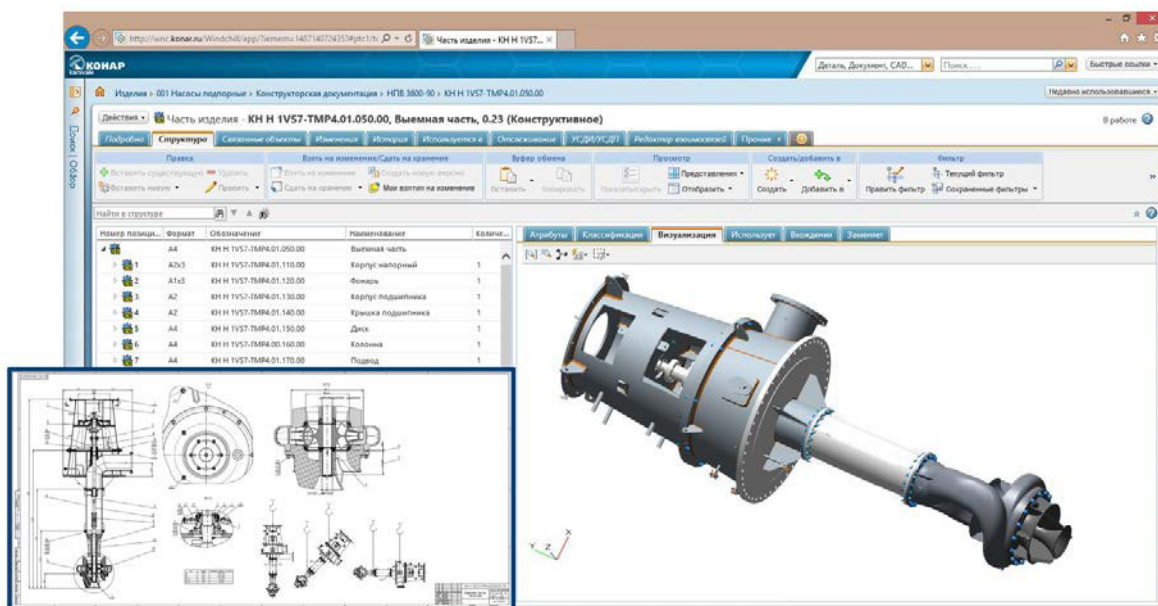


Рис. 1. Цифровой макет выемной части вертикального подпорного насоса в PLM-системе Windchill

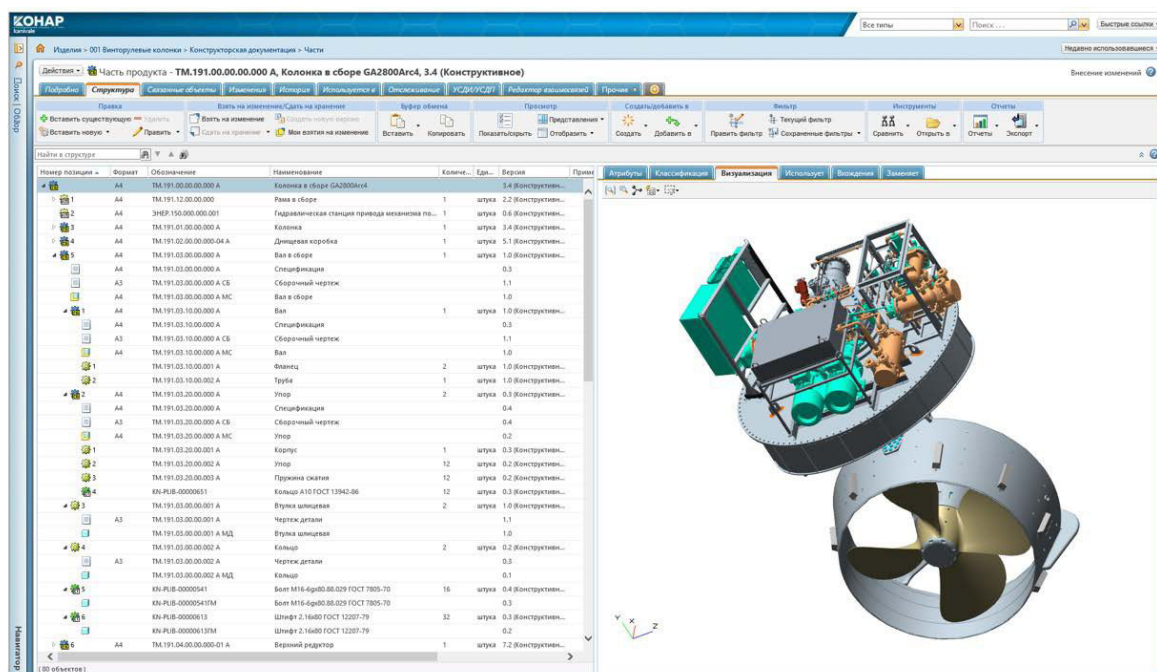


Рис. 2. Цифровой макет винторулевой колонки в PLM-системе Windchill

На последнем этапе все необходимые компоненты собираются в единую сборку, добавляются конструктивные элементы механической об-

работки, оформляется связанный комплект конструкторской документации, состоящий из сборочного чертежа и спецификации (рис. 9).

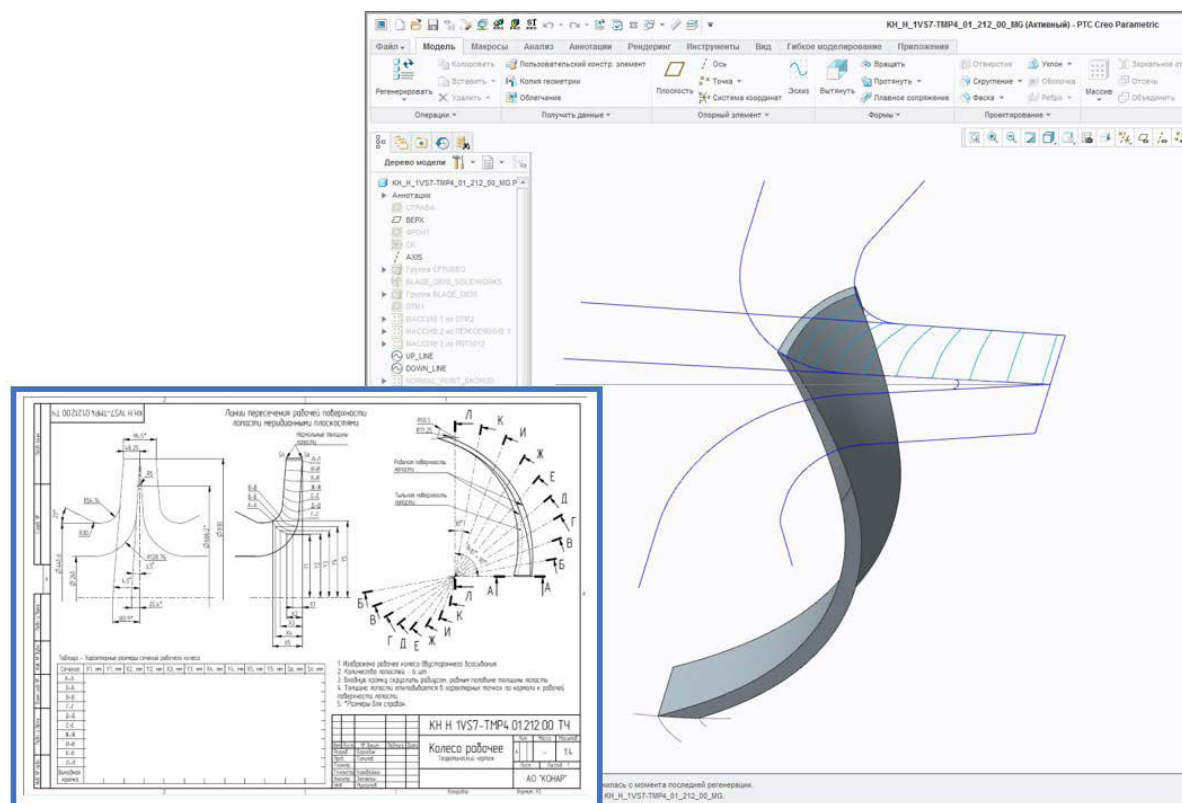


Рис. 3. 3D-модель теоретической геометрии и теоретический чертеж

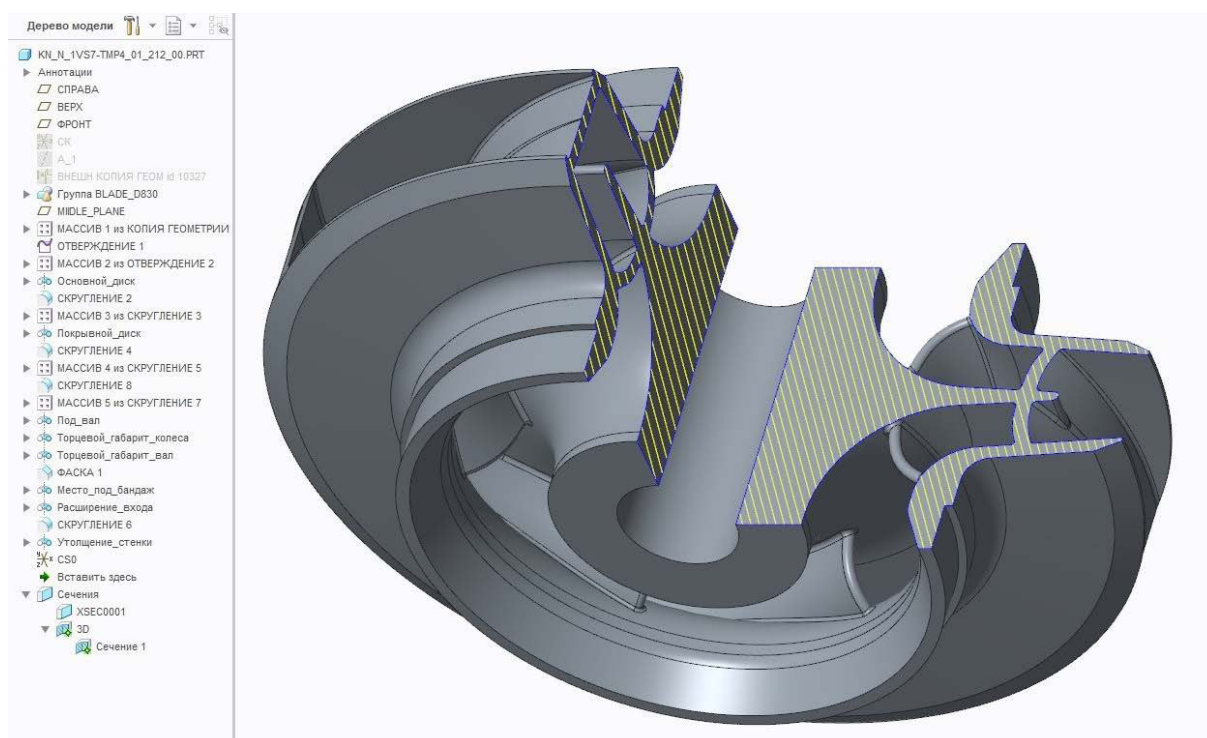


Рис. 4. 3D-модель базовой геометрии детали

Путем наследования данных 3D-модели отливки с предварительной механической обработкой разрабатывается 3D-модель отливки и связанный чертеж (рис. 8).

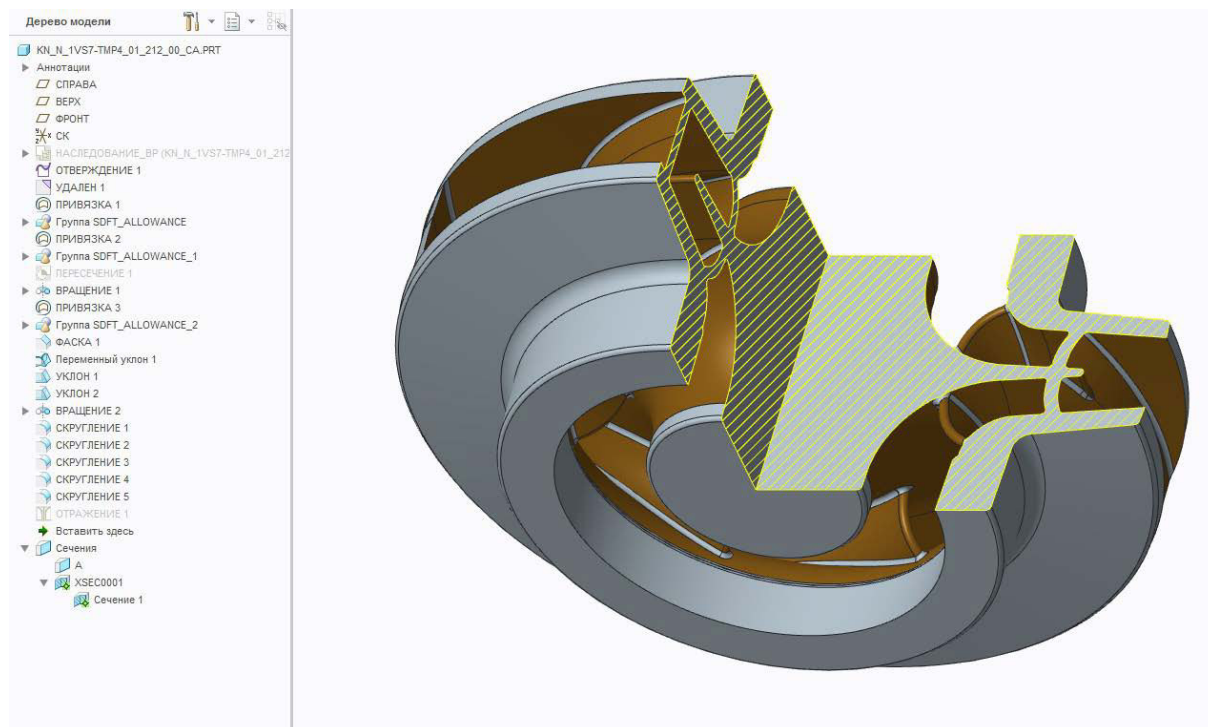


Рис. 5. 3D-модель базовой геометрии отливки

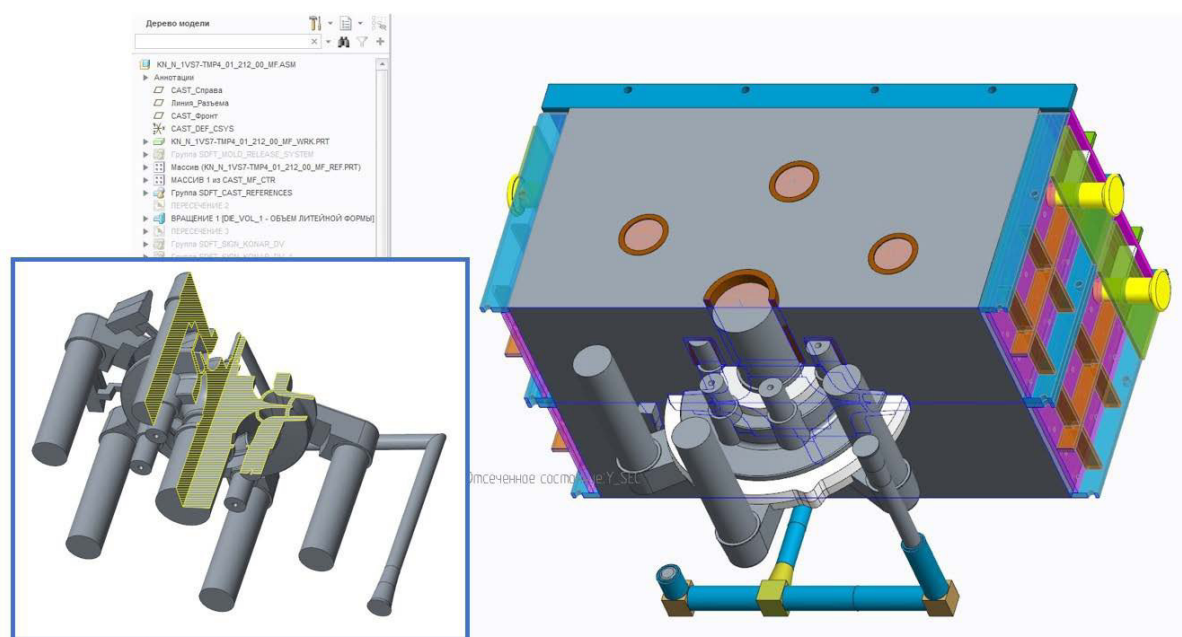


Рис. 6. Общий вид 3D-моделей сборки основной литейной формы и результата литья

Инженерный анализ в рамках конструкторско-технологической подготовки производства

Инженерный анализ с применением современных CAE-систем по результатам виртуальных испытаний позволяет:

— проверить корректность примененных конструкторских и технологических решений;

— сократить количество опытных образцов изделия и объем натурных испытаний;

— исследовать больше вариантов конструкции или технологии для выбора наилучшего решения;

— проверить соответствие изделий заданным проектным требованиям и эксплуатационным условиям;

— решить проблемы, обнаруженные в готовом изделии.

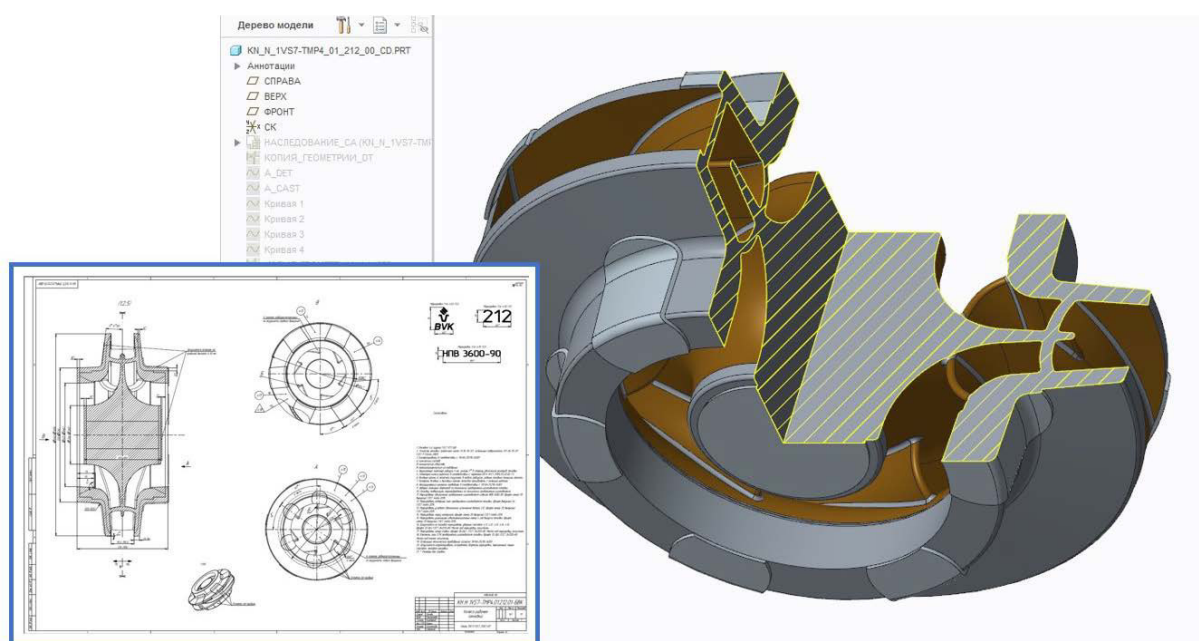


Рис. 7. 3D-модель и чертёж итоговой отливки

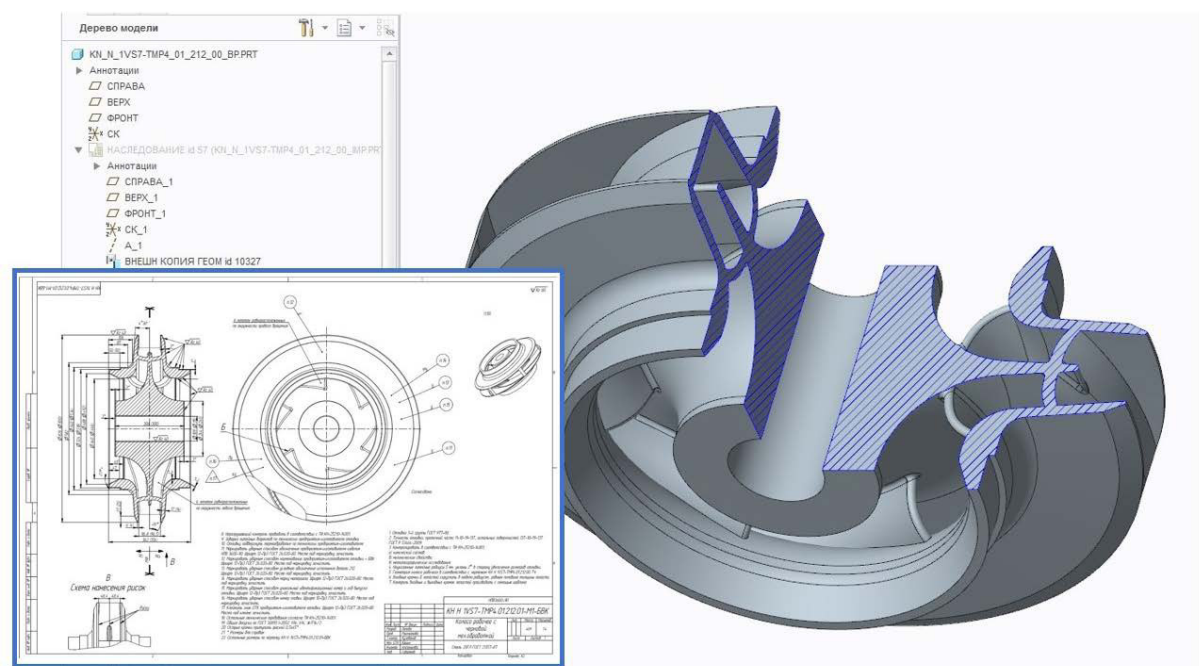


Рис. 8. 3D-модель и чертёж рабочего колеса с предварительной обработкой

Для проведения статических (рис. 10), динамических (рис. 11), гидравлических и междисциплинарных (рис. 12) расчетов используется CAE-система ANSYS, которая на основе моделиро-

вания физических процессов позволяет получать поля распределения напряжений, деформаций, перемещений в элементах конструкций, а также поля скоростей и давлений в рабочей жидкости.

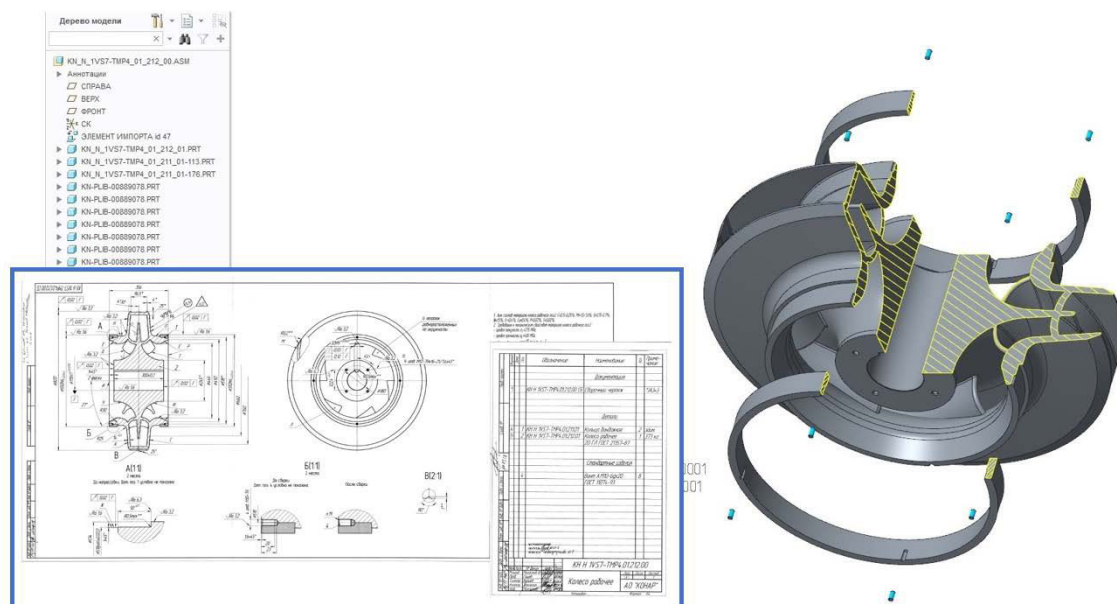


Рис. 9. 3D-модель и конструкторская документация на сборку рабочего колеса

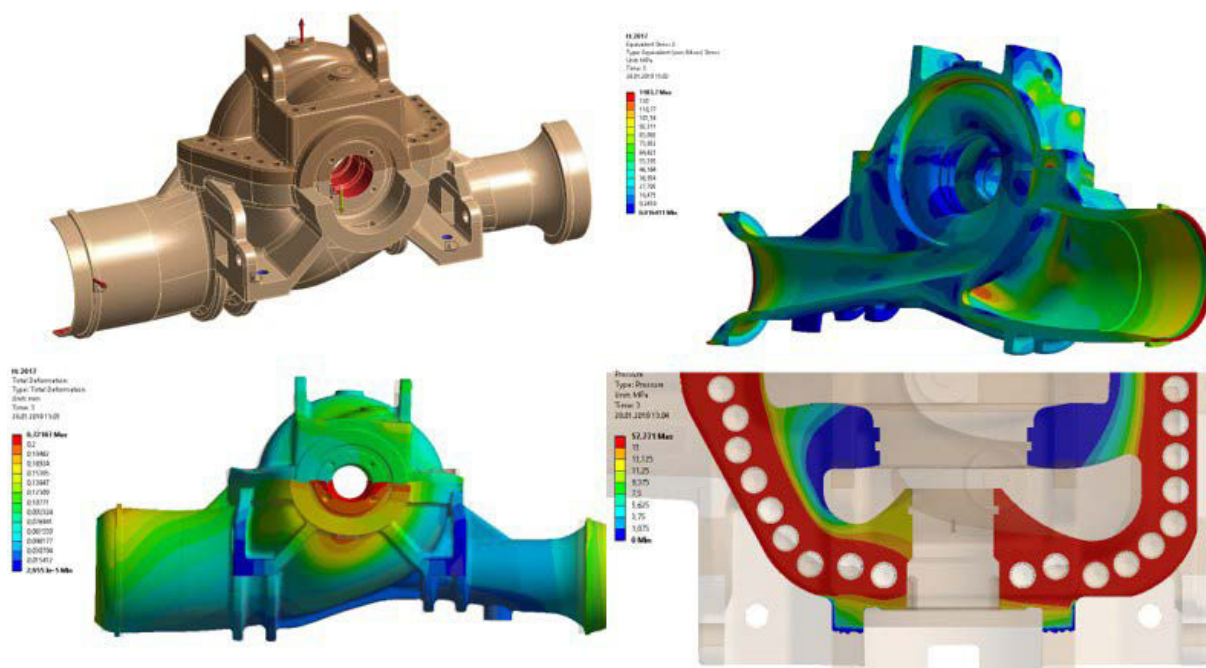


Рис. 10. Статический расчет прочности корпуса магистрального насоса в CAE-системе ANSYS

Для оптимизации литейной технологии производства крупногабаритных деталей (рис. 13) специалистами используется CAE-система MAGMA, позволяя на основе моделирования физических процессов заполнения литейных форм

выявлять различные дефекты, рассчитывать механические свойства, микроструктуру сплава, остаточные напряжения, деформации отливок, определять усадку.

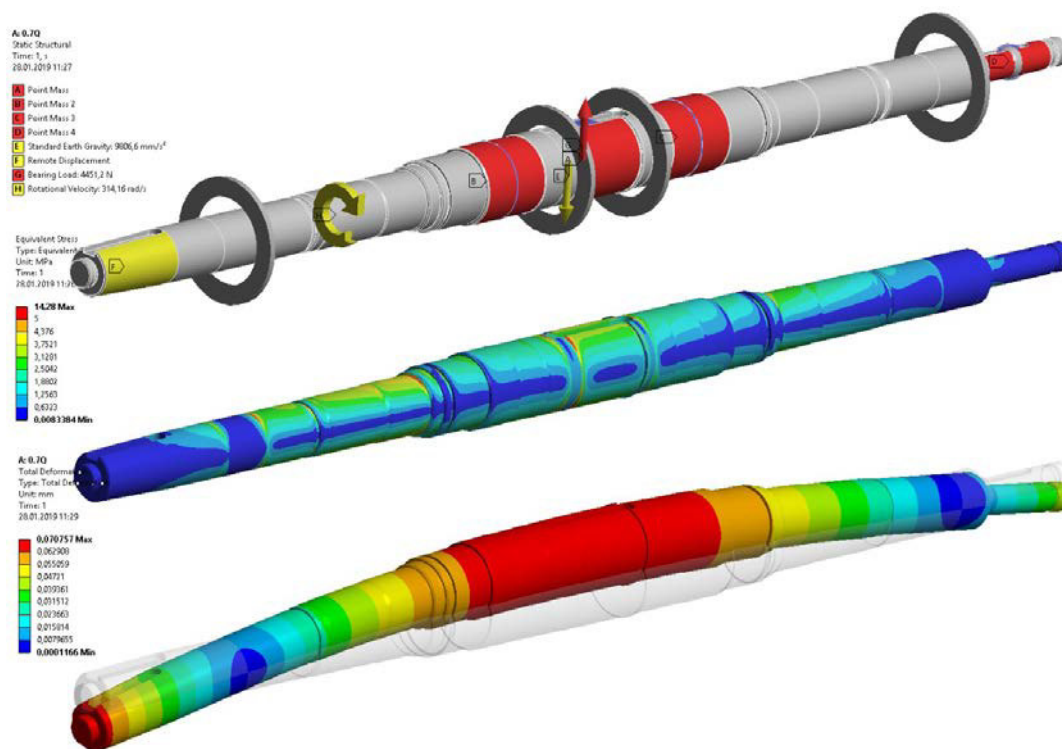


Рис. 11. Динамический расчет ротора магистрального насоса в CAE-системе ANSYS

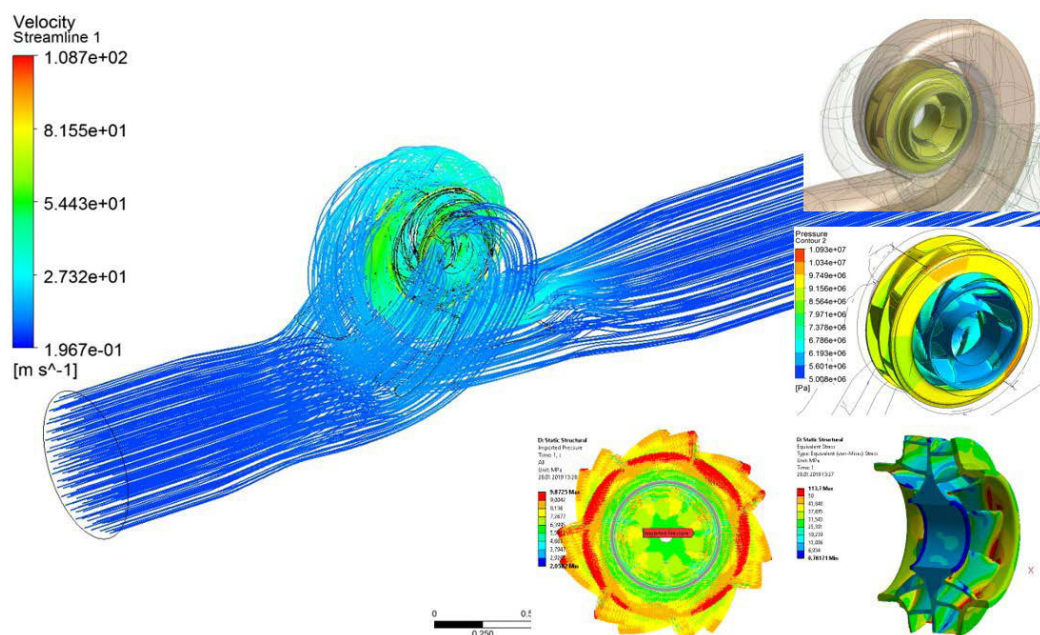


Рис. 12. Расчет прочности рабочего колеса с учетом гидродинамического расчета проточной части магистрального насоса в CAE-системе ANSYS

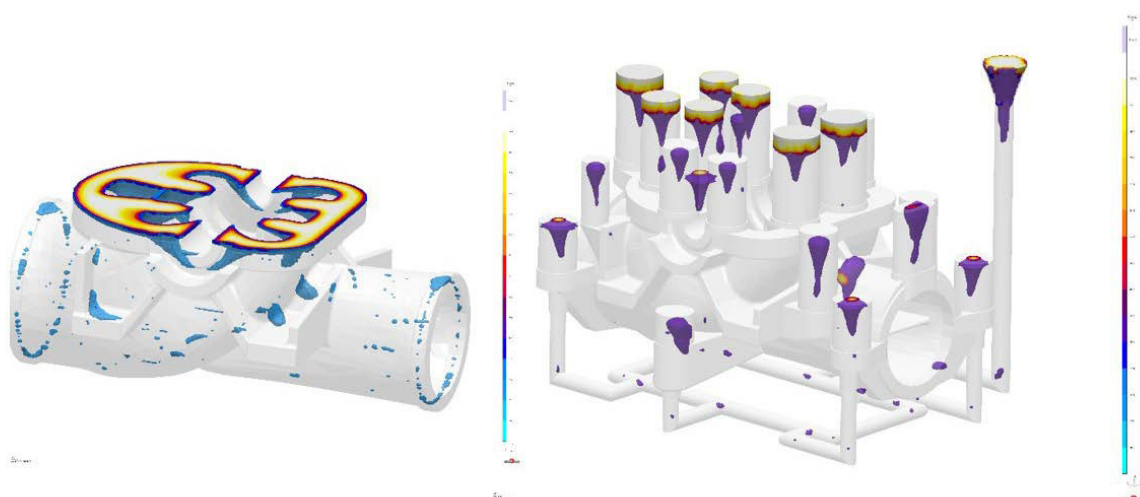


Рис. 13. Оптимизация литейной технологии корпуса магистрального насоса с применением CAE-системы MAGMA

Технологическая подготовка механообрабатывающего производства

Использование многофункциональных обрабатывающих центров с ЧПУ для изготовления сложных деталей и узлов позволяет существенно сократить производственный цикл изделия за счет сокращения вспомогательного времени и повышения доли машинного времени в общем цикле обработки.

При несоблюдении некоторых исходных условий и некорректной организации процесса подготовки производства использование многофункциональных обрабатывающих центров с ЧПУ становится подобным использованию универсальных станков. Важными условиями эффективного использования станков с ЧПУ является:

- наличие проверенной и оптимизированной технологии изготовления (управляющей программы ЧПУ);
- наличие оптимально подобранного режущего и вспомогательного инструментов;
- наличие оптимально подобранного технологического оснащения;
- отсутствие необходимости вести разработку или корректировку управляющей программы непосредственно на станке ЧПУ.

С помощью применения современных CAD-и CAM-систем можно организовать процесс подготовки механообрабатывающего производства таким образом, чтобы создать необходимые ус-

ловия эффективного использования многофункциональных обрабатывающих центров с ЧПУ.

Вначале, с применением CAD-системы Creo Parametric, производится разработка 3D-моделей операционных заготовок и полуфабрикатов (рис. 14), тем самым производится фиксация технологических намерений и первичная проработка технологии изготовления.

С применением CAM-модуля Creo Parametric на основании 3D-моделей операционных заготовок и полуфабрикатов разрабатываются 3D-модели операций — сцены механической обработки (рис. 15, 16), в которых создаются необходимые переходы, определяется оптимальная ориентация заготовки для обработки, производится подбор необходимого режущего и вспомогательного инструментов, универсального и специального технологического оснащения.

После расчета траектории движения инструмента в CAM-модуле Creo Parametric с использованием специализированного постпроцессора производится формирование управляющей программы для конкретного станка ЧПУ.

После получения управляющей программы сцена механической обработки с помощью специализированного интерфейса передается из CAM-модуля Creo Parametric в CAM-систему Vericut, где производится симуляция работы виртуального станка ЧПУ по окончательной управляющей программе (рис. 17, 18). При неудовлетворительном результате проверки технологии механической обработки процесс повторяется итеративно с одного из этапов, описанных выше.

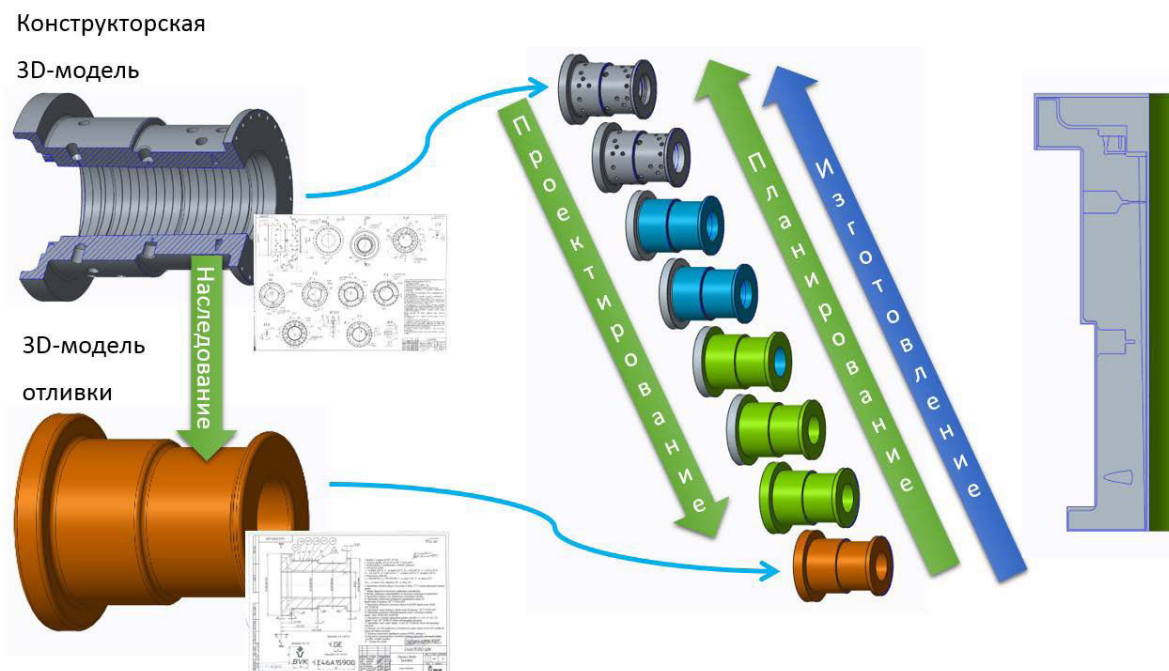


Рис. 14. Процесс разработки операционных заготовок и полуфабрикатов для ступицы гребного винта

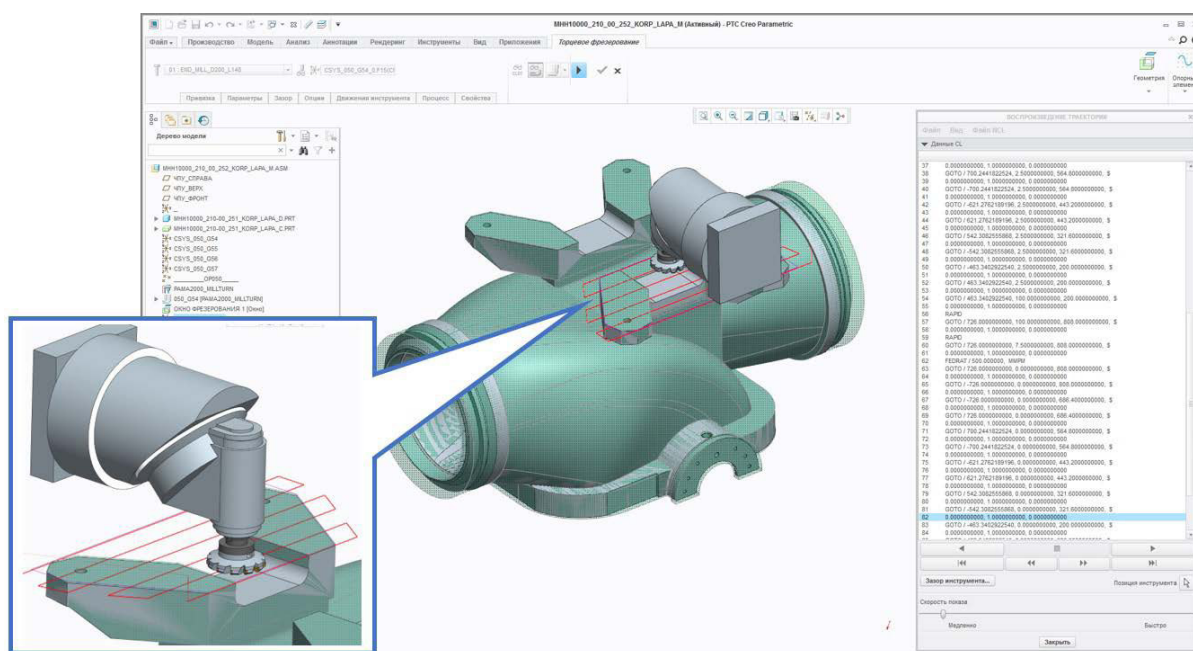


Рис. 15. Фрезерование поверхности лап корпуса магистрального насоса в САМ-модуле Creo Parametric

Такой процесс организации подготовки механообрабатывающего производства позволяет до выхода на реальный станок ЧПУ обеспечить полноценную проверку и оптимизацию технологии изготовления и тем самым:

- исключить брак при выпуске продукции за счет проверки управляющей программы для станков ЧПУ на отсутствие недоработанных зон и «зарезов»;
- исключить дорогостоящий ремонт оборудования за счет проверки на отсутствие аварий-

ных столкновений между рабочими органами станка ЧПУ, инструментом, заготовкой и приспособлениями;

— уменьшить себестоимость продукции за счет оптимизации управляющей программы с целью уменьшения времени операций путем изменения условий обработки и уменьшения холостых перемещений инструмента.

После проверки управляющей программы в САМ-системе Vericut на основе сцены механической обработки в CAD-системе Creo Parametric формируется комплект отчетной технологической документации (рис. 19), включающий операционную карту, карту наладки, карту эскизов, карту инструментальных наборов и прочие необходимые сведения для наладчика и оператора станка ЧПУ.

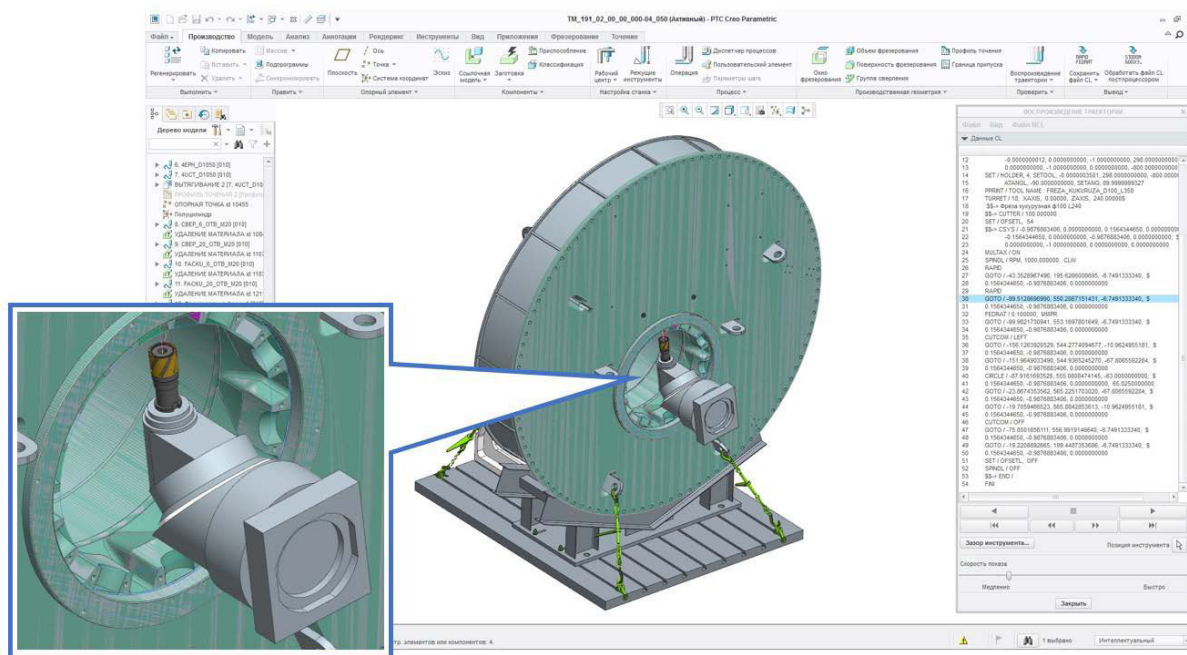


Рис. 16. Фрезерование пазов корпуса винторулевой колонки в САМ-модуле Creo Parametric

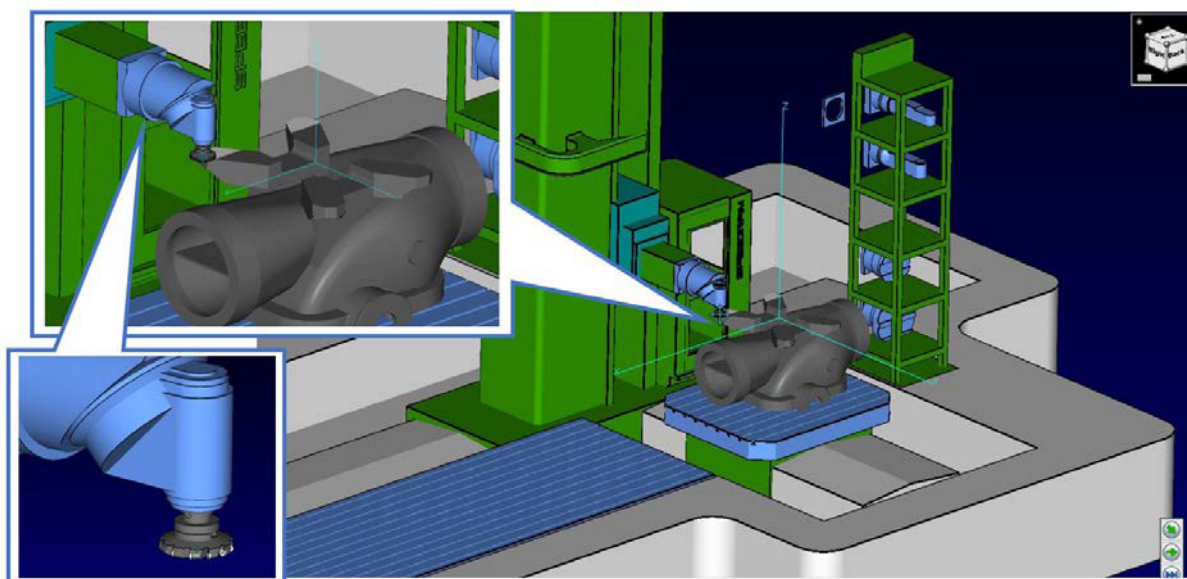


Рис. 17. Симуляция фрезерования поверхностей лап корпуса магистрального насоса в САМ-системе Vericut

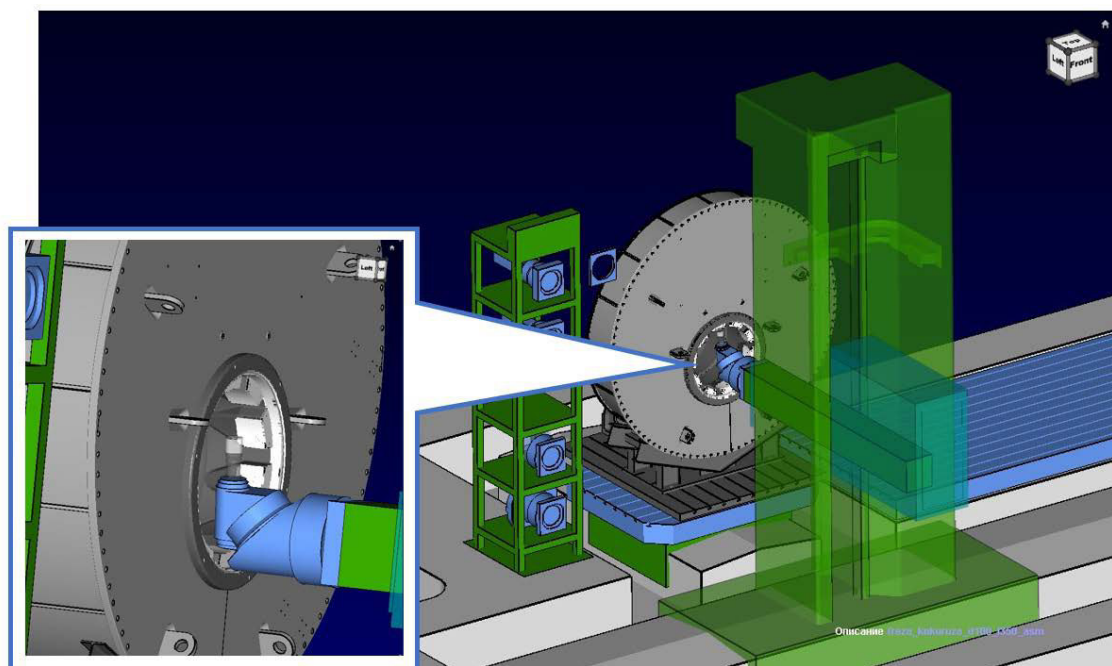


Рис. 18. Симуляция фрезерования пазов корпуса винторулевой колонки в САМ-системе Vericut

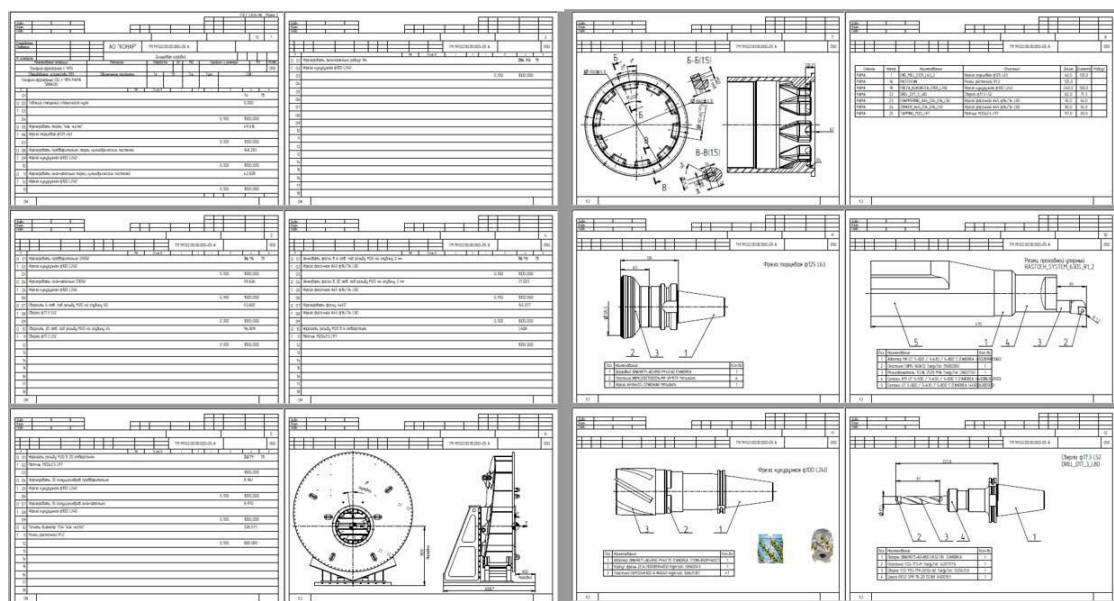


Рис. 19. Отчетный технологический документ по операции механической обработки корпуса винторулевой колонки

Технологическая подготовка сборочного производства

Изготовление крупных механических изделий требует всесторонней проработки не только с точки зрения процессов изготовления отдельных комплектующих, но и процессов сборки всей конструкции в единое целое. Моделирова-

ние всех процессов сборки в виртуальной среде с применением цифровых макетов позволяет на самой ранней стадии учесть множество серьезных проблем и принять решение об изменении конструкции изделия, применяемого технологического оснащения или самого процесса, если это необходимо, тем самым сократить возможные временные и финансовые затраты.

Важно использовать результаты моделирования процессов виртуальных сборок не только как элементы оформления комплектов технологической документации, но и как элементы интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР).

Для применения интерактивных электронных технических руководств (рис. 20—22) участки сборки планируется оснастить автоматизированными рабочими местами с CAD-системой Creo View и подключенными к PLM-системе Windchill.

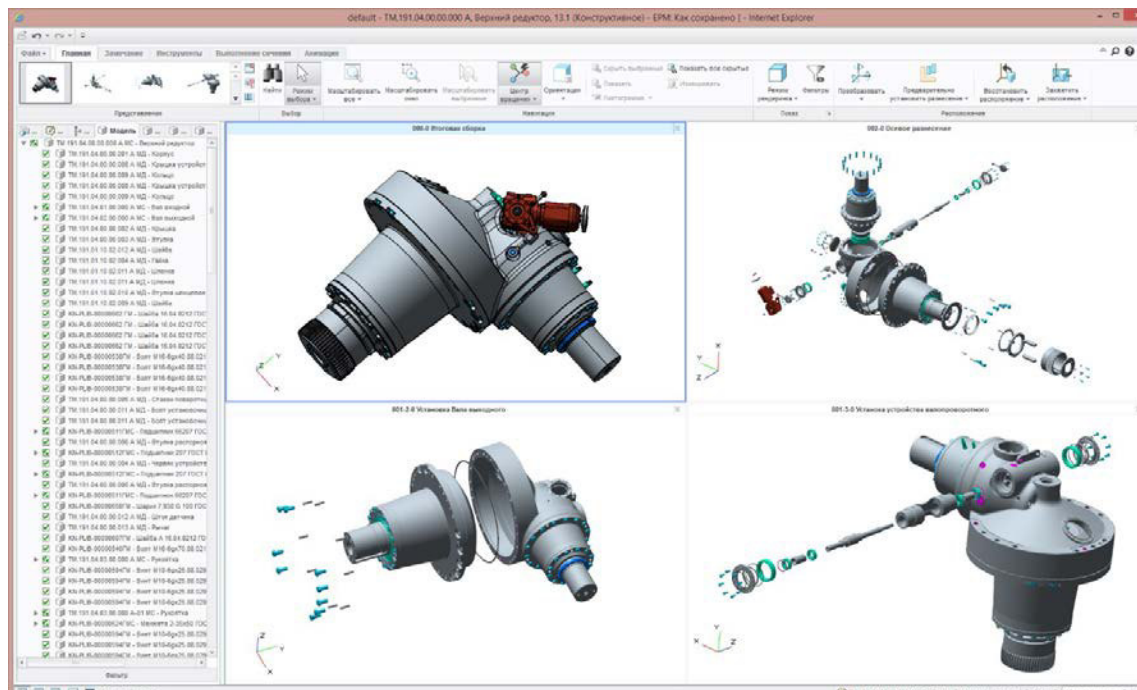


Рис. 20. ИЭТР для сборки винторулевой колонки в CAD-системе Creo View под управлением PLM-системы Windchill

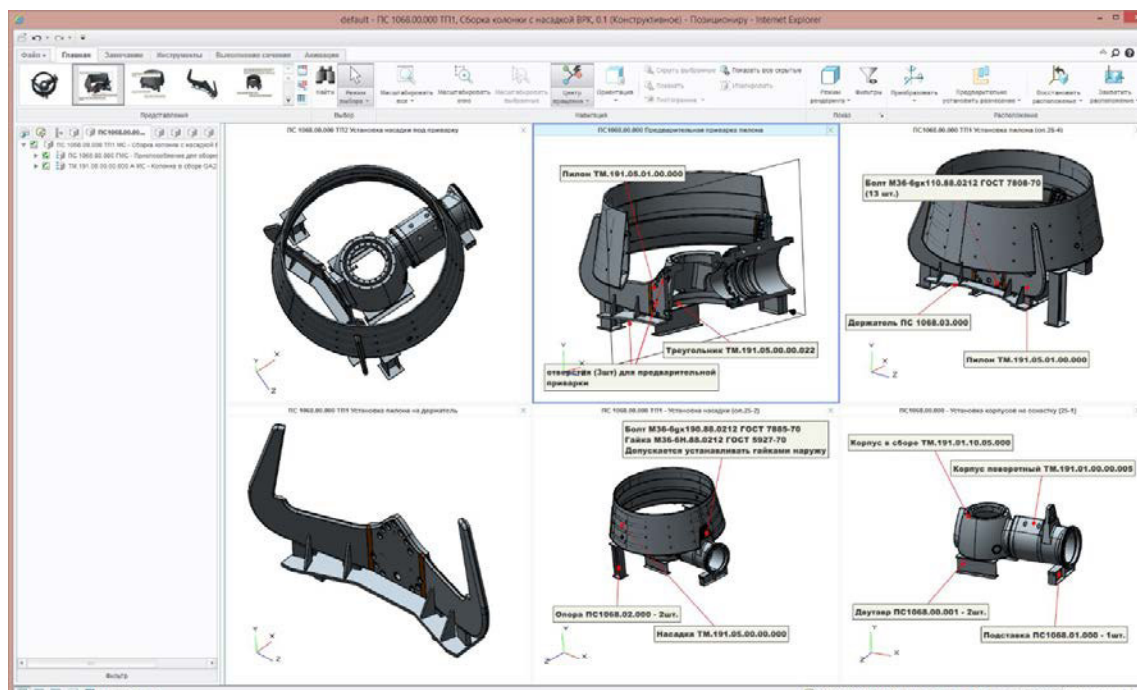


Рис. 21. ИЭТР для сборки винторулевой колонки в CAD-системе Creo View под управлением PLM-системы Windchill

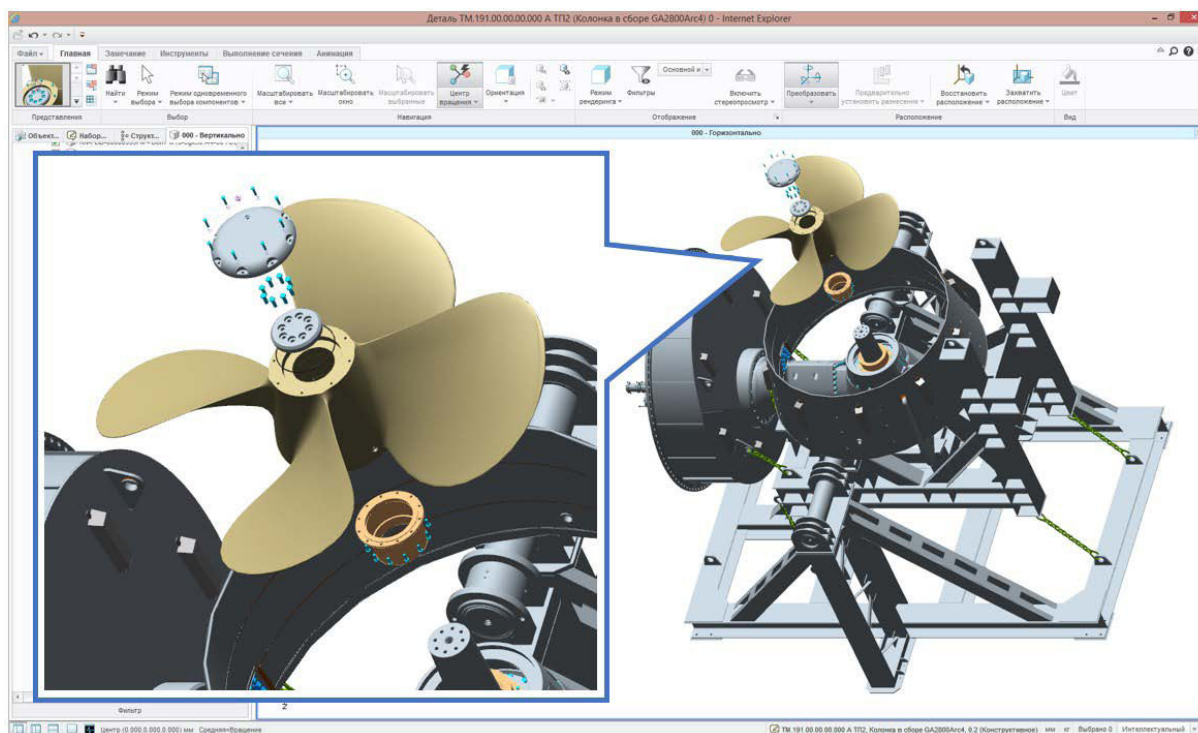


Рис. 22. ИЭТР для сборки винторулевой колонки в CAD-системе
Creo View под управлением PLM-системы Windchill

Контроль качества изготовления продукции

Контроль геометрии ответственных криволинейных поверхностей деталей и узлов, влияющих на работу изделия, таких как поверхность проточной части в корпусе и крышке насоса, поверхности лопаток у рабочего колеса, нагнетающая и засасывающая поверхность гребного винта, с помощью классических способов измерения очень трудоемкий, так как требует больших затрат времени и сил, причем полученные измерения будут дискретными и неинформативными для понимания отклонений геометрии по всей поверхности, а не отдельных ее участков.

Для сокращения трудоемкости процесса контроля геометрии сложных деталей и повышения качества измерений, наряду с контрольно-измерительными машинами Carl Zeiss, применяется ручной лазерный 3D-сканер Creaform Handyscan 700 (рис. 23), который в связке с CAD-системой VXModel Elements позволяет в режиме реального времени получить пространственную сеточную 3D-модель сканируемого объекта с высокой точностью и детализацией.

Для сравнения результатов сканирования с исходной 3D-моделью используется CAI-система PolyWorks Inspector (рис. 24), а в случае необходимости анализа литейных припусков применяется CAI-система GOM Inspect, которая позволяет оптимальным образом вписать геометрию готовой детали в объем отливки (рис. 25).



Рис. 23. Применение 3D-сканера для
создания 3D-модели «рабочего колеса»

E. G. Bodrov

Technical Director KONAR JSC (Chelyabinsk, Russia), bodrov.evgeniy@konar.ru

P. E. Ishmulkin

Specialist of CAD Dept. KONAR JSC (Chelyabinsk, Russia), ishmulkin.pavel@konar.ru

This is to present some results obtained by KONAR JSC and BVK LLC, which are part of the KONAR Group of companies, regarding the creation of the preproduction continuous cycle in terms of automation of the preproduction design and engineering, the engineering analysis and quality control for pumping and shipboard equipment components by the aid of automated systems. Keywords: CAD, CAM, CAE, CAI, PLM, centrifugal pump, impeller, pod propulsion system, propeller blade.