

## Цифровая трансформация производства средствами системы ADEM

В июне этого года успешно завершился совместный проект Центра цифровой трансформации ПАО «КамАЗ» и компании «АДЕМ-инжиниринг». Целью данного проекта была оценка возможности получения экономического эффекта при цифровой трансформации производства, т.е. реновации существующих технологических процесса современными программными средствами.



Инициатором проекта выступила аналитическая служба ПАО «КамАЗ», в лице её руководителя Морозова Б. М. Перед нами, компанией «АДЕМ-инжиниринг», была поставлены следующие взаимосвязанные задачи, по возрастанию сложности их можно перечислить в следующем порядке:

- проанализировать существующий технологический процесс, выявив возможности для его улучшения;
- провести ОТР и разработать новый ТП, более эффективный по сравнению с существующим;
- создать цифровой двойник нового ТП, т.е. сформировать комплексную информационную модель технологического процесса, которую бы отличала полнота, актуальность, непротиворечивость данных, описывающих технологический процесс;
- встать к станку и на практике подтвердить эффективность нового ТП, добившись значительного повышения производительности оборудования с ЧПУ;
- сформировать перечень критериев оценки эффективности предлагаемых технологических решений и на их основе сформировать методику цифровой трансформации производственных компетенция всего предприятия.

Следует особо отметить, что сам процесс формирования цифрового двойника ТП, т.е. процесс цифровой трансформации компетенций предприятия, никогда не рассматривалось нами как самоцель, информационные технологии были лишь средством достижения поставленных задач, т.е. процесс разработки и оптимизации технологических решения всегда рассматривался в контексте экономической эффективности предлагаемых мероприятий для предприятия в целом.



## Исходные данные



В качестве объекта для ОТР нам было предложено попытаться улучшить процесс обработки поворотного кулака, который изготавливался на предприятии уже несколько десятилетий.

При этом никто не собирался создавать для нас «тепличные» условия, речь не шла о эксперименте ради эксперимента, реализовывать все наши замыслы мы должны были на существующем оборудовании, без затрат на модернизацию или приобретение нового оборудования, не нарушая существующий производственный процесс. Наши возможности при этом изначально оценивались на предприятии весьма скептически и на то были все основания;

*во-первых*, существующий технологический процесс был внедрен еще в 2008 году, и за многие годы и технологиями 3Д Камаза, и специалистами «внешних» инжиниринговых фирм уже предпринимались многочисленные попытки его улучшить и сократить время изготовления детали – безуспешные. Сложилось мнение, что невозможно как-то кардинально улучшить технологический процесс, одна деталь в 30 минут – это все, на что станок способен.

*во-вторых*, станок HELLER MCH 250, который отработал на производстве 14 лет, его техническое состояние не вызвало ни у кого никаких иллюзий. Станок действительно нас «огорчил», он преподнёс нам массу неприятных сюрпризов: фраза «техническое состояние самого станка – неудовлетворительное» не может в полной мере выразить наше отношение к ситуации. Перечень неисправностей, с которыми мы столкнулись в процессе работ, затрагивал почти все системы станка, но особые нарекания вызвали система подачи СОЖ и гидротрансмиссия шпинделя

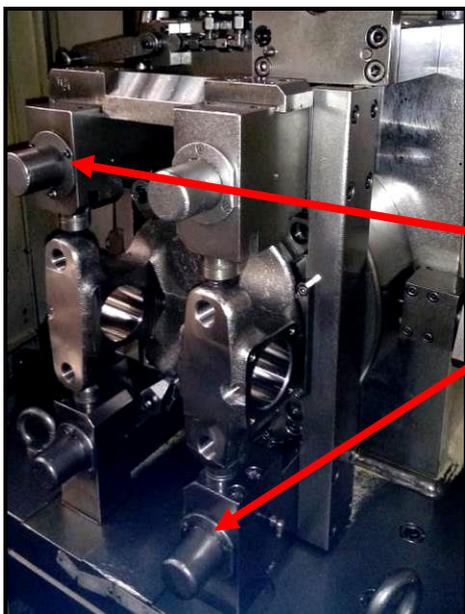
станка, сбой этих подсистем прерывали выполнение управляющей программы и значительно усложняли ее отладку.

Но неприятные сюрпризы этим не исчерпывались, кроме «железных» проблем, нас ожидали и «особенности» стойки управления станком. Так, в ходе выполнения тестовой УП, были выявлены ограничения в программном обеспечении станка, установленные производителем – выяснилось, что производитель специально ограничил технические характеристики станка по сравнению с заявленными паспортными значениями. В частности, «в целях обеспечения безопасности эксплуатации оборудования» предельная частота вращения шпинделя была ограничена величиной 4200 об/мин (по сравнению с паспортным значением в 6000 об/мин), что не позволяло нам эффективно применять мелкоразмерный режущий инструмент – скорость резания была значительно ниже рекомендуемой производителем инструмента, а это приводит и к увеличению длительности цикла обработки, и к снижению стойкости инструмента.

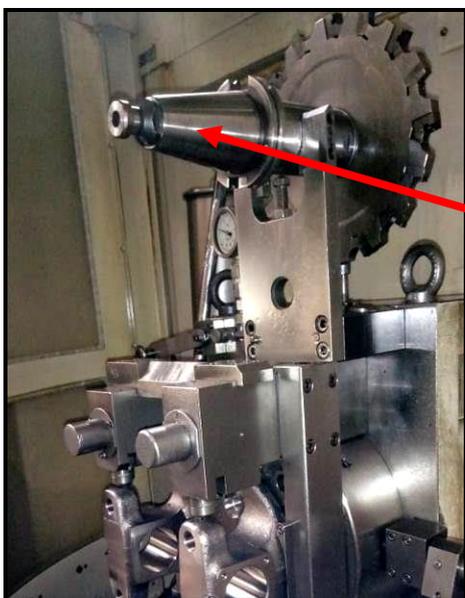
Как показал анализ УП, применяемой при обработке детали по существующему ТП, несмотря на то, что кинематическая схема станка позволяла вести обработку сразу по четырём осям, по факту применялось плоское фрезерование (фрезерование 2,5D) в четырёх независимых зонах. При этом, по непонятной причине, в составе ПО станка отсутствовали модули, обеспечивающие программирование обработки в локальных координатах конструктивного элемента, типовые для данного класса станков - «CYCLE800», «TRANS», «ROT» и т.д. Данная «оптимизация» и тот факт, что система координат для трех зон обработки из четырех не ортогональна системе координат станка, практически исключало возможность модернизации существующей УП программированием со стойки станка, необходимо было научить эту «шарманку», в которую превратили станок, играть новую мелодию.

Разработку стратегии обработки, т.е. проектирование общей последовательности обработки и возможных траекторий движения инструмента, в нашем случае значительно усложняла конструкция существующей оснастки. Оснастка, разработанной немецкими специалистами, обладала рядом существенных недостатков:

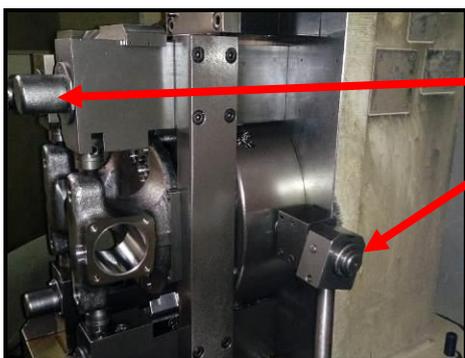
- конструкция отличалась излишней сложностью и материалоемкостью, оснастка занимала все рабочее пространство станка - на поворотном столе станка, размерами 630x630 мм, размещалась только одна заготовка с габаритными размерами 300x280x300 мм.
- при разработке УП дополнительно приходилось учитывать габариты вспомогательных элементов оснастки – рычага, баллона гидросистемы и т.д., которые могли повредить шпиндель при повороте стола, т.е. смене зон обработки детали. Все это вынуждало увеличивать расстояние от плоскости холостых ходов до зоны обработки, т.е. увеличивать объем холостых перемещений инструмента при обработке.
- несмотря на внушительные габариты оснастки, выбранная схема закрепления заготовки не обеспечивала достаточную жесткость при обработке, так как фактически представляла из себя схему «консольное закрепление балки» - сферические прижимы фиксировали заготовку по краю, по необработанной части, при этом центр тяжести заготовки был удален от плоскости фиксации более чем на половину длины заготовки. Недостаточная жесткость закрепления заготовки дала о себе знать впоследствии, при обработке переходов с большими припусками – пришлось специальным образом подбирать частоту вращения шпинделя, чтобы снизить вибрацию при обработке.
- отдельные элементы оснастки препятствовала свободному выходу инструмента при обработке основания и внутренней поверхности стенок детали, причём именно в тех местах, где расположены основные объемы снимаемого металла.



Элементы конструкции оснастки, загромождающие рабочее поле и препятствующие свободному перемещению инструмента при обработке детали.



Применение неэффективного режущего инструмента при существующем ТП. В новом ТП от применения данного инструмента отказались.

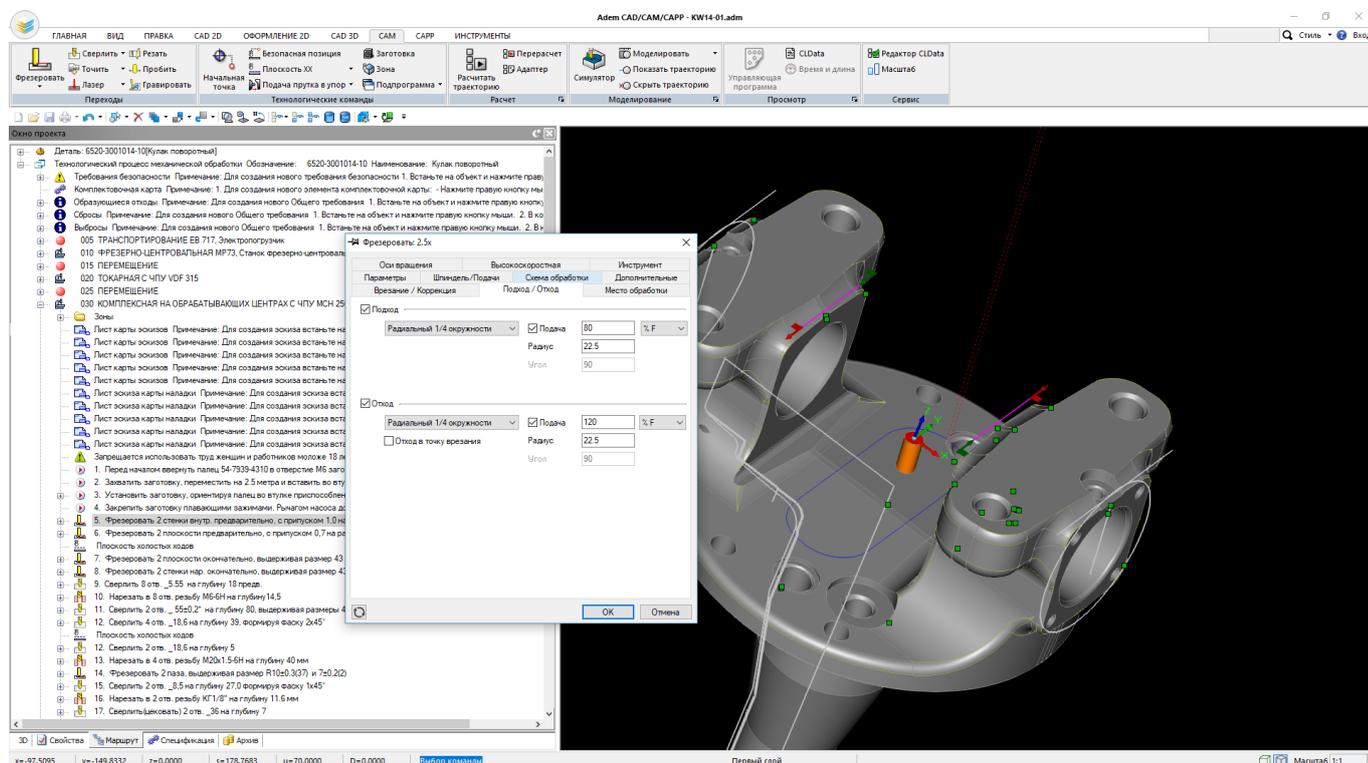


Элементы конструкции оснастки, увеличивающие длины перемещений холостого хода при обработке детали, в частности, требующие увеличение высоты отвода инструмента при смене зоны обработки и т.д.

Для исправления ситуации нами был разработан специализированный программный модуль (постпроцессор), который учитывал кинематическую схему станка, геометрическую модели расположения самой оснастки на столе станка и расположение заготовки детали в оснастке, специфику конфигурации программного обеспечения стойки ЧПУ и т.д.

Наличие специализированного постпроцессора позволило нашему технологу в последующем легко изменять стратегию обработки детали, адаптируя способ обработки конструктивных элементов детали с учётом конкретных характеристик СПИД - в течении нескольких минут, при необходимости, менять последовательность обработки конструктивных элементов детали, геометрию и тип режущего инструмента, режимы резания и т.д.

В частности, постпроцессор позволил включить в УП команды круговой интерполяции, что позволило предельно просто формировать криволинейную траекторию движения инструмента, например, при подводе к контуру обработки, т.е. избежать удара при подводе инструмента к контуру обработки и значительно снизить нагрузку на режущий инструмент при врезании в заготовку.



На данный момент, разработанный нами постпроцессор (Heller MCH-250B/Sinumerik 840D) обеспечивает:

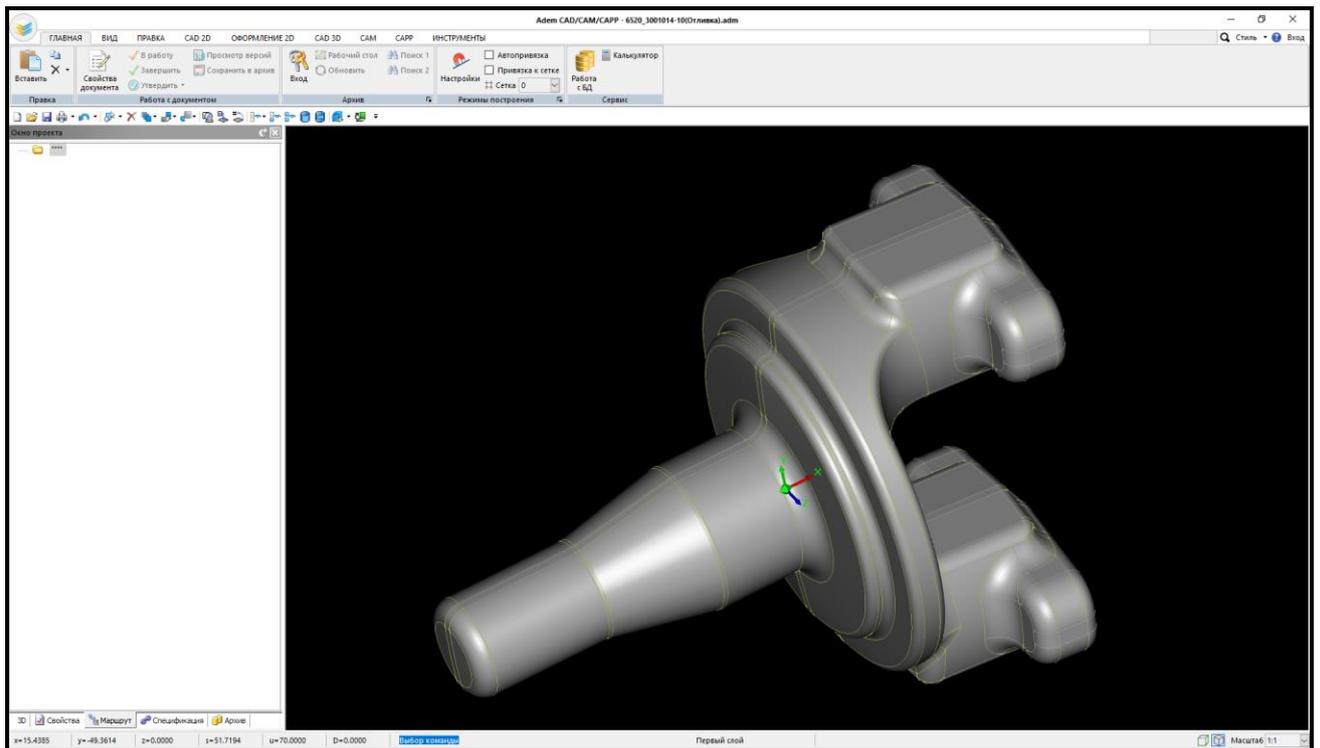
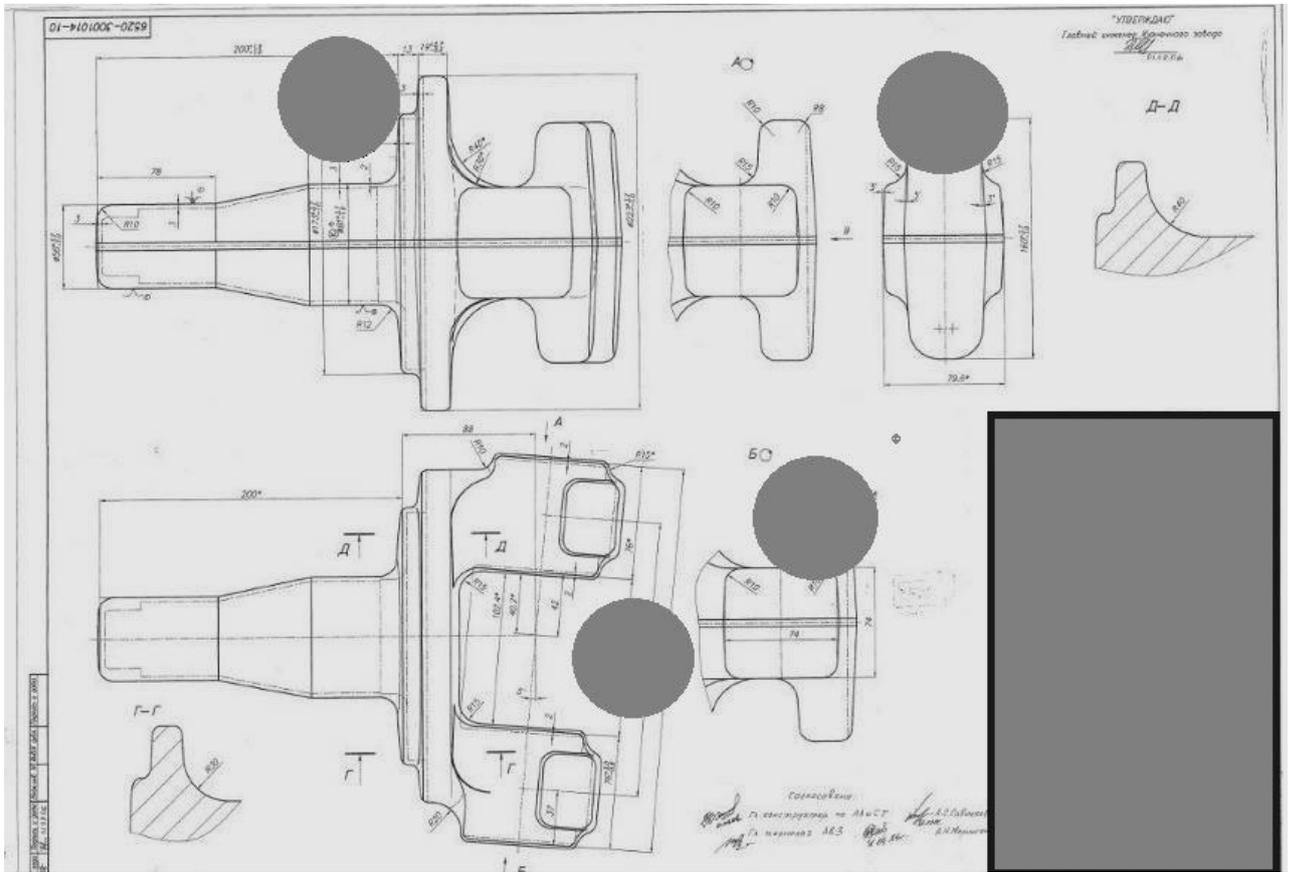
- программирование стандартных сверлильно-расточных циклов;
- автоматическое выделение зон обработки и генерация команд УП для позиционирования необходимой зоны в процесс обработки;
- выбор режима подачи СОЖ для конкретного инструмента, участвующего в обработке - отсутствие подачи СОЖ, подача СОЖ в рабочий кабинет поливом, включение насоса повышенного давления и подача СОЖ через шпиндель станка;
- оптимизацию траекторий перемещений инструмента на холостых ходах, в процессе подвода или отвода из зоны обработки;
- снижения времени смены инструмента;
- оптимизацию углов поворота стола станка в процессе смены зоны обработки и т.д.

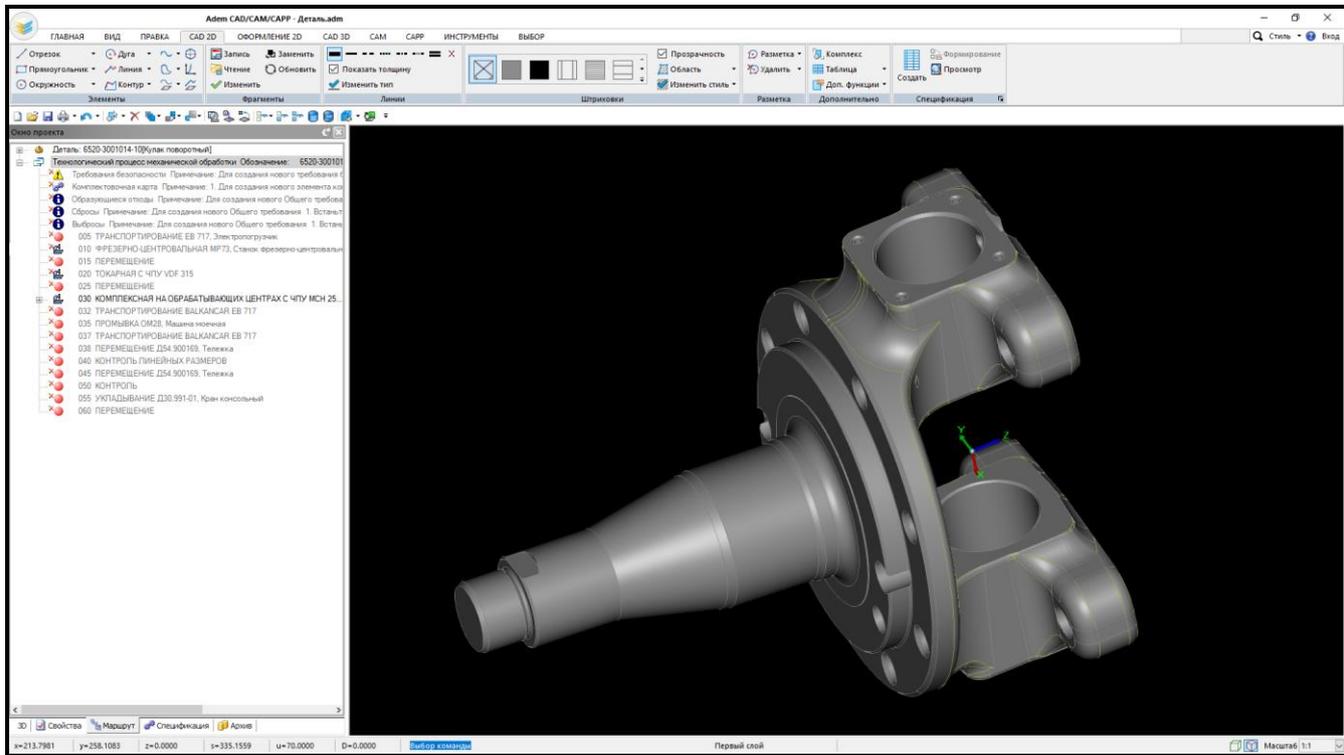
Кроме того, постпроцессор обеспечивает расчёт общих характеристик эффективности УП – расчёт времени обработки как для операции в целом, так и времени обработки детали на отдельном переходе, длительности и протяженности перемещения режущего инструмента на холостом и рабочем ходу и т.д.

Применение постпроцессора позволило нам на порядки сократить время разработки новой УП, по сравнению со временем, которое бы понадобилось на программирование и отладку программы со стойки станка, практически исключив при этом возможность аварии при отладке программы на станке.

## Моделирование и оптимизации рабочего пространства при обработке

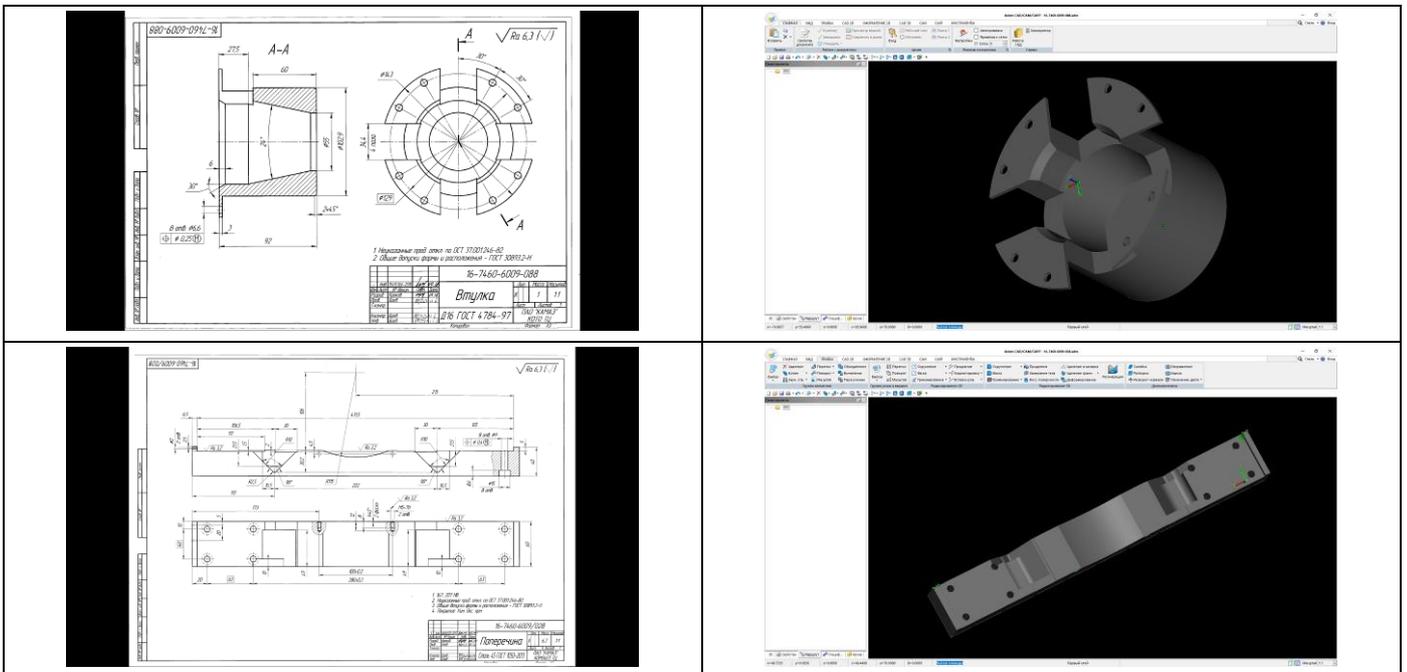
В ходе реновации ТП изготовления Детали использовался программный комплекс ADEM-VX (вер. 9.5) для создания и анализа цифровых 3D-моделей детали и её заготовки.

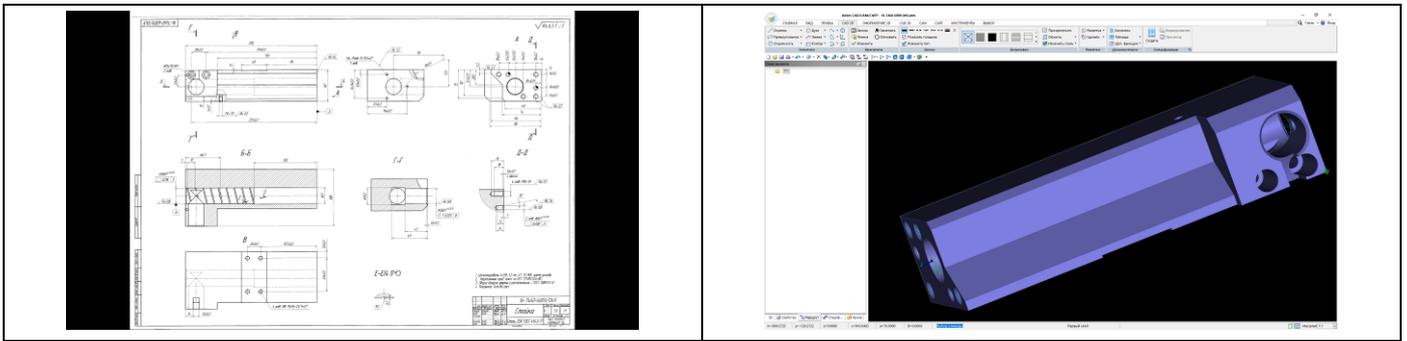




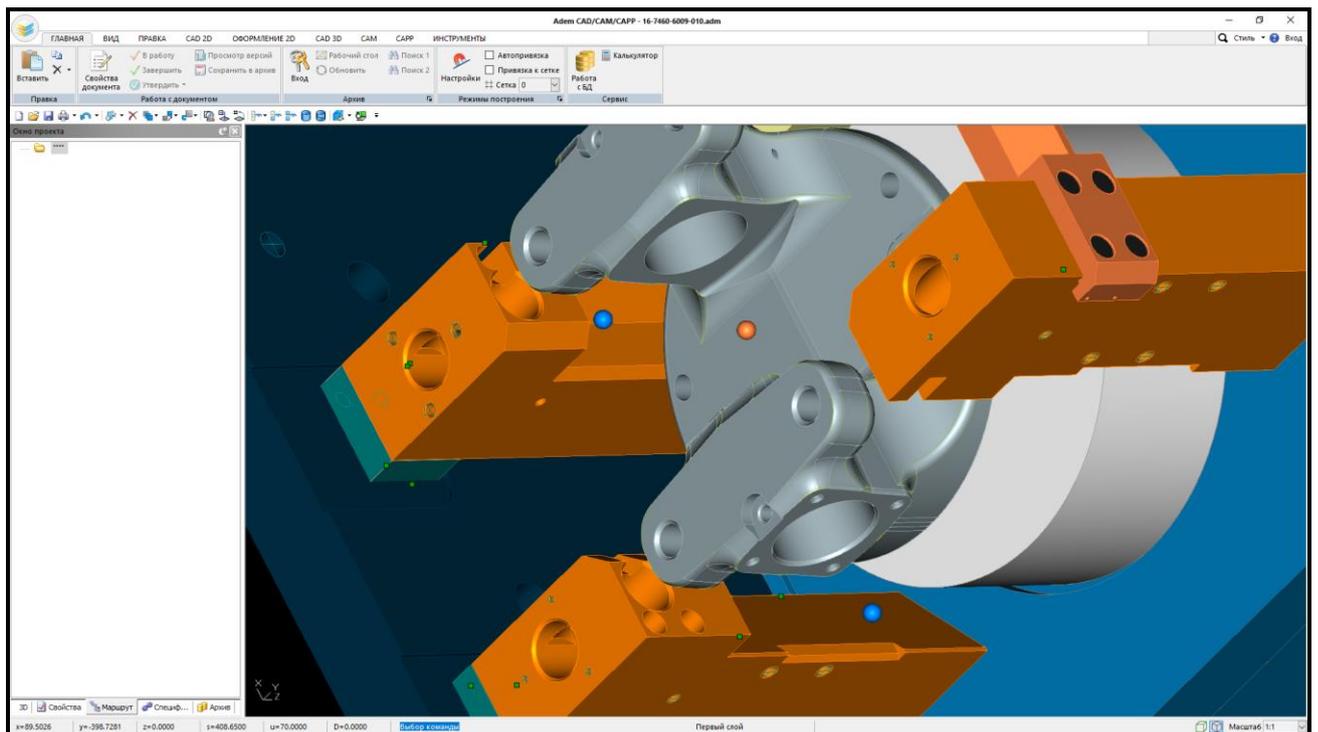
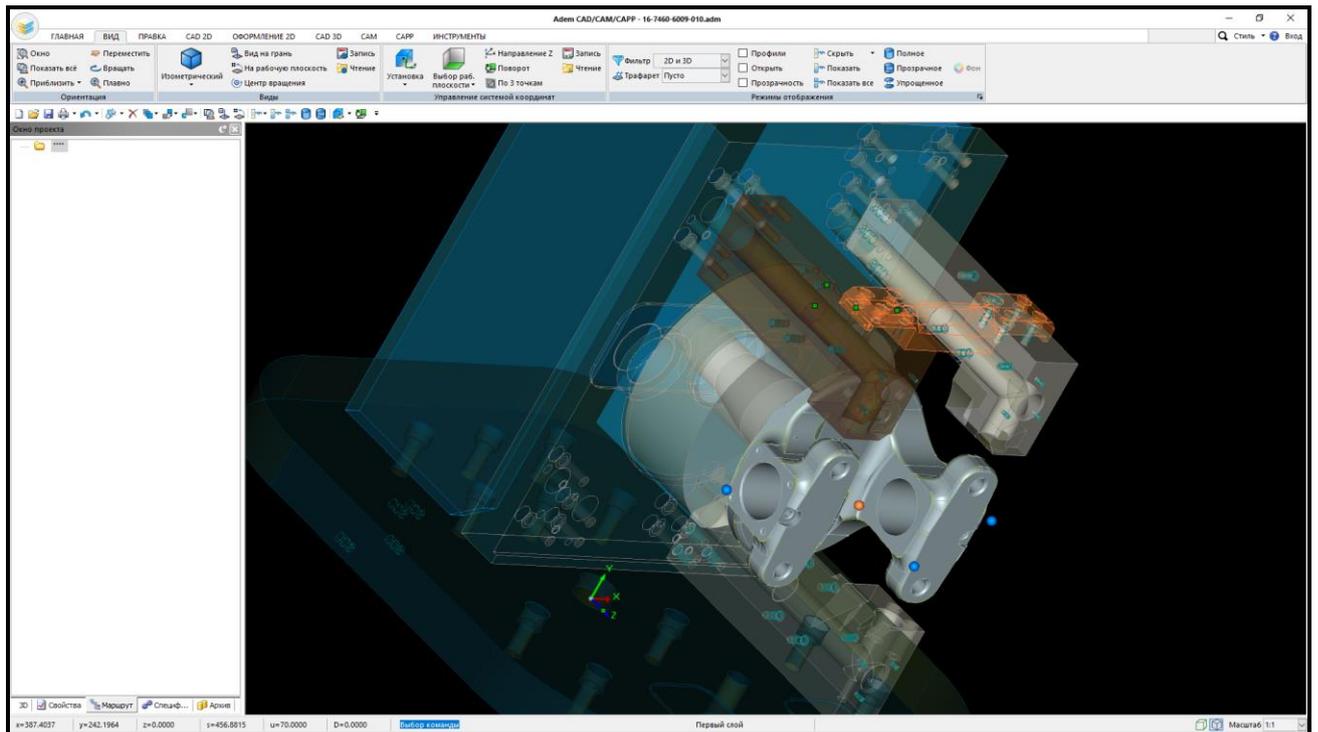
Данная информация использовалась для контроля и оптимизация размерных цепей соответствующих технологических эскизов нового ТП. Для исключения коллизий при обработке и аварии шпинделя при «жестком наезде», было принято решение создать «цифровой двойник» существующей оснастки - чертежи элементов и узлов оснастки были оцифрованы и на их базе построены соответствующие 3D-модели.

Для формирования 3D-моделей элементов оснастки использовался CAD-модуль системы ADEM-VX, полученные модели были проверены на корректность геометрии. Изображения сформированных 3D-моделей элементов оснастки приведены ниже.



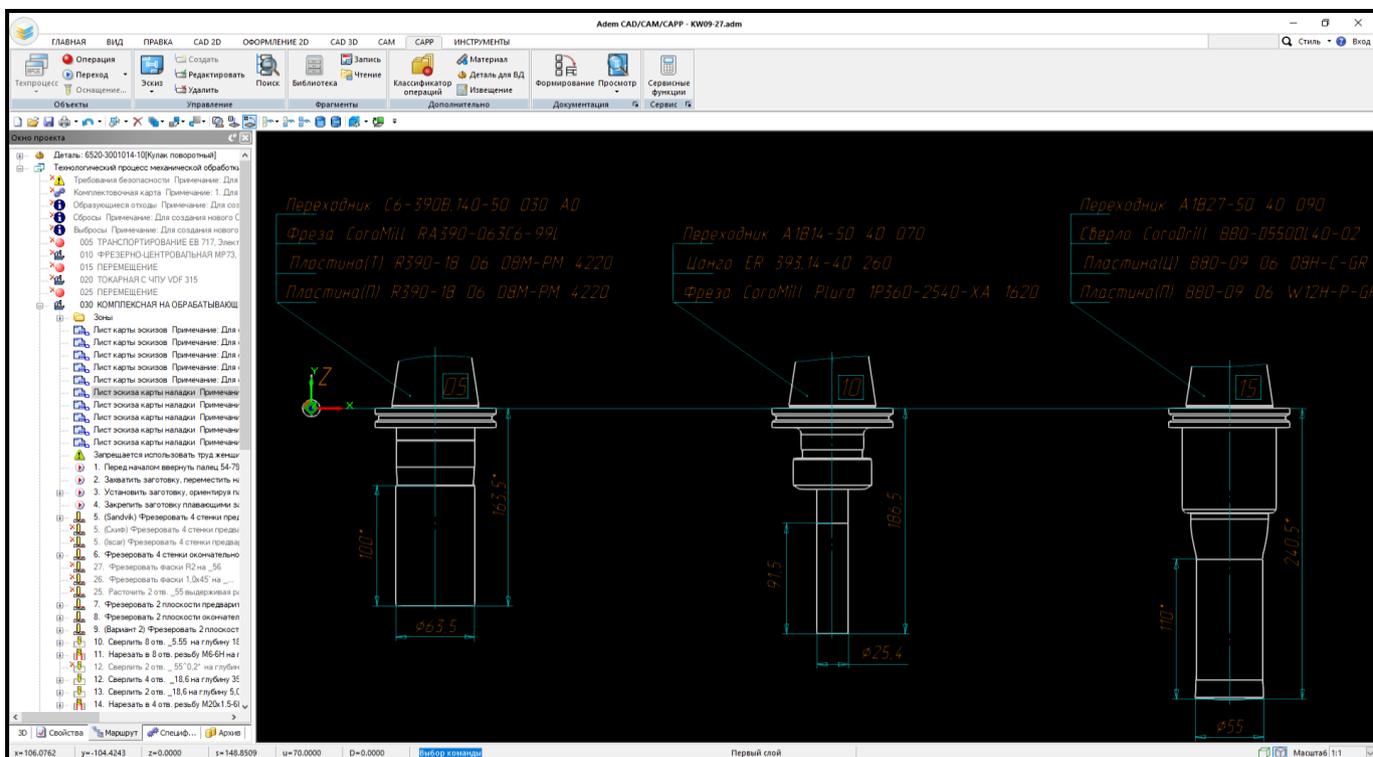


На основе полученных 3D-моделей элементов оснастки были построены соответствующие узлы и под сборки оснастки в целом.



При разработке нового ТП учитывался тот факт, что конструкция оснастки ограничивает возможности доступа к элементам детали при обработке - для проверки возможности обработки конструктивных элементов детали той или иной инструментальной сборкой были созданы 3D-модели всех инструментальных сборок, применяемых при обработке.

Данные модели в последующем были включены в новый ТП и в дальнейшем использовались для генерации соответствующих технологических документов при материальном нормировании ТП.



В целях дальнейшего снижения рисков и оптимизации времени обработки была проведена верификация новой УП средствами программного комплекса ADEM-VX (вер. 9.5) и изготовление комплекта ТД на новый техпроцесс.



