

УДК 65.011.56

А.В. Пузанов

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ГИДРОПРИВОДОВ

Рассматриваются направления повышения эффективности производства гидроприводов посредством применения информационной поддержки жизненного цикла изделия. Приводятся примеры использования программных комплексов для аналитических исследований на различных этапах жизненного цикла гидроприводов.

Введение

Потребители продукции машиностроения требуют от гидроприводостроения повышения технических, эксплуатационных и мощностных характеристик. Предприятиям машиностроения (в том числе гидроприводостроения) принято ориентироваться на тенденции развития ВПК, поскольку он был и остается локомотивом машиностроительной отрасли. От предприятий ВПК требуется повышение объемов производства на 15 % при сохранении численности работников, фактически на 15 % обязана повыситься и производительность труда. Вариантов решения задачи в данной постановке не столь много, поскольку повысить объемы производства на оборудовании без нарушения техпроцесса и перегрузки оборудования проблематично. Именно поэтому решение этой задачи видится в комплексном повышении эффективности бизнес-процессов на уровне организационных мероприятий, приоритета использования информационных технологий и высокопроизводительной вычислительной техники, поскольку прогресс и темпы роста данных направлений очевидны и намного превышают требуемые целевые показатели.

В условиях сокращения бюджета от организаций требуются дополнительные усилия по управлению себестоимостью, сроками изготовления и соблюдению все более жестких требований к изделиям. Решая данные задачи, предприятия формируют бизнес-процессы в едином информационном пространстве, реализуя тем самым информационную поддержку жизненного цикла изделий (ЖЦИ).

Задачи структурного исследования информационной системы на предмет ее эффективности или для изучения вариантов ее трансформации связаны с изучением разнородных бизнес-процессов, описывающих ЖЦИ. Для этих задач применяется методология и инструменты функционального моделирования (по стандарту IDEF), позволяющие исследовать структуру, параметры и характеристики процессов в производственно-технических и организационно-экономических системах. В российском правовом поле методология функционального моделирования регламентирована ГОСТ Р 50.1.028–2001.

Моделирование процессов в идеологии IDEF0 начинается с построения основной диаграммы A0, которая описывает функционирование конкретного (в нашем случае машиностроительного) предприятия в целом. Далее основная диаграмма разворачивается на составляющие диаграммы A1–A9 (рис. 1), которые, в свою очередь, декомпозируются до элементарного функционала рабочего места или функции работника.

Исследование функциональной модели позволяет проводить анализ изменений в бизнес-процессах и обосновывать применение средств и инструментов информационной поддержки ЖЦИ. В частности, на данной модели было проведено изучение информационных потоков для корректного использования аналитических инструментов поддержки конструкторско-технологических, экономических и тому подобных решений.

Поскольку концепцией информационной поддержки ЖЦИ подразумевается виртуализация реальных процессов (организационного, технического, информационного и др.), их анализ и моделирование образуют отдельный пласт задач и собственное информационное пространство со своими системами поддержки жизненного цикла виртуальных моделей изделий.

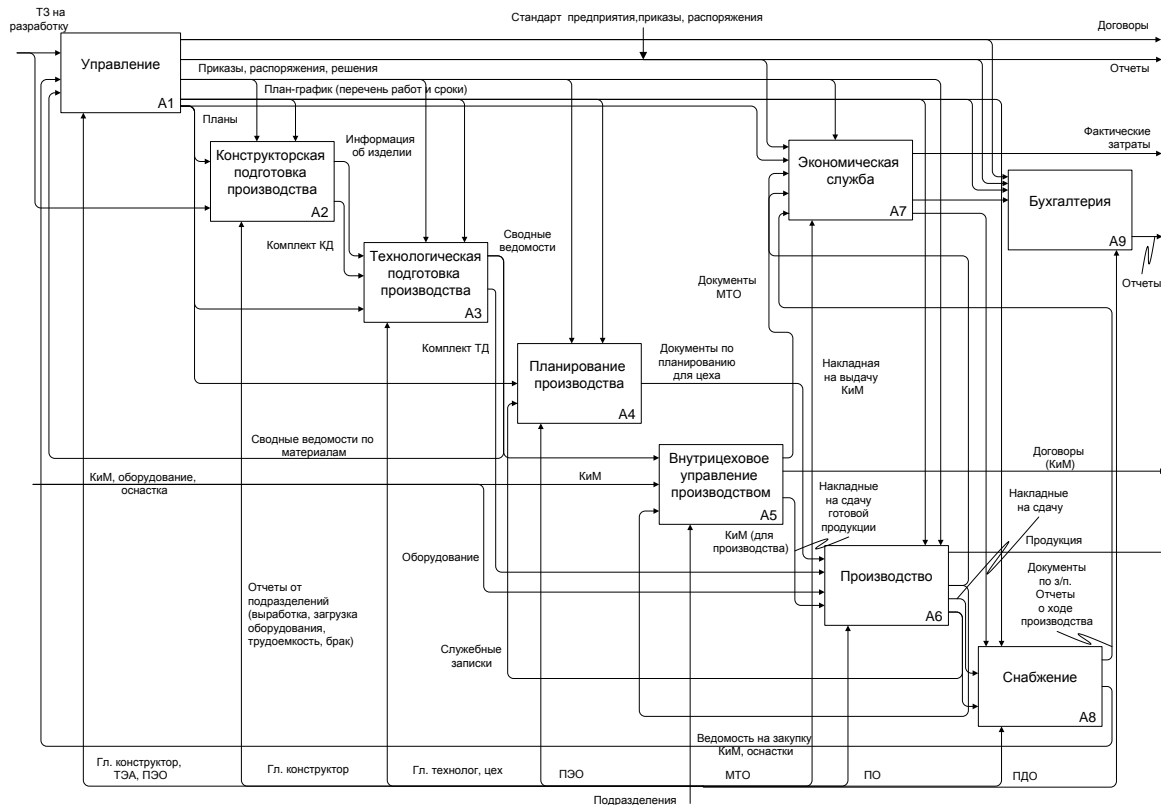


Рис. 1. Функциональная схема машиностроительного предприятия

Обычно концепция ЖЦИ на предприятиях реализуется следующим образом: на этапе проектирования создается комплект конструкторской документации, к которой на каждом последующем этапе ЖЦИ добавляется дополнительная информация, в лучшем случае – как подтверждение конструктивных, технологических и прочих решений в виде документов в архиве (в электронном виде, в общедоступном формате).

В настоящей работе рассматривается использование аналитических средств в качестве основного инструмента сопровождения ЖЦИ. Инструменты аналитических исследований являются частью ЖЦИ (САЕ-анализ), но в контексте данной работы рассматриваются как средства системы поддержки принятия решений (оценки адекватности решений при формировании базы знаний) для других этапов ЖЦИ.

1. Использование средств инженерного анализа для поддержки жизненного цикла гидроприводов

Преимущества использования аналитических средств очевидны: если локальные компьютерные модели позволяют уменьшить время работы над изделием на каждом отдельном этапе его жизненного цикла, то их комплексный анализ сокращает количество фальш-итерационных процессов при проверке изделия на соответствие требованиям ТЗ (технологичности, функциональности и эргономичности).

Приведенные ниже иллюстрации отражают работу, выполняемую специалистами ОАО «Специальное конструкторское бюро приборостроения и автоматики» (г. Ковров, Россия) в рамках конструкторско-технологической подготовки производства гидроприводов, а также результаты совместных работ со смежными предприятиями и перспективные направления реализации концепции ЖЦИ.

В качестве инструментов аналитического сопровождения ЖЦИ использовались программные комплексы мультифизического анализа Autodesk Simulation Multiphysics, MSC.AFEA, Flow-3D, а также программный комплекс автоматизации интегрированных этапов подготовки производства «Интермех».

Рассмотрим возможности аналитических средств для решения задач на всех этапах ЖЦИ:

1. *На этапе маркетинговых исследований.* Для изделий гидроприводостроения характерна непрезентабельность внешнего вида и внутреннего устройства. С целью усиления привлекательности и наглядности принципов работы устройств используются материалы моделирования внутренних течений рабочей жидкости или тепловых потоков (рис. 2).

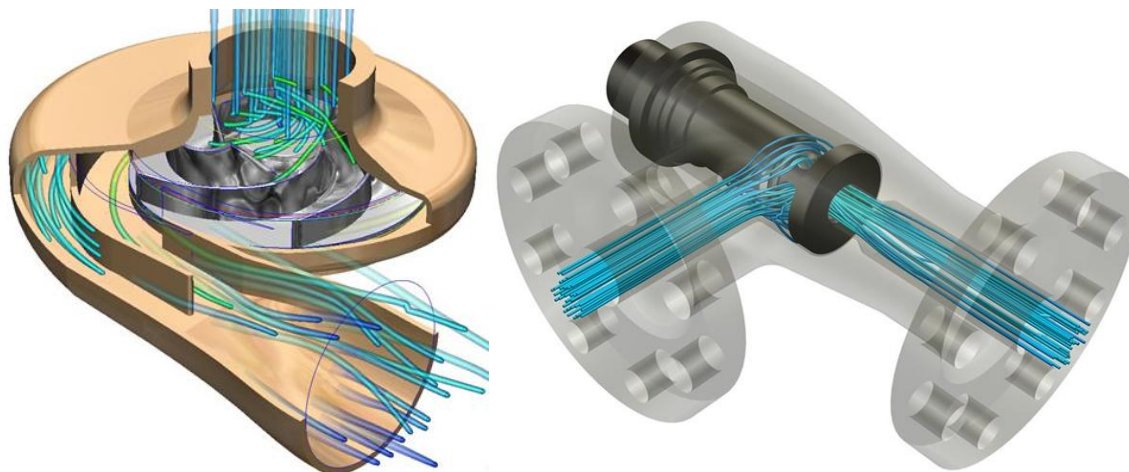


Рис. 2. Демонстрация принципа работы изделия

Отдельным направлением использования средств САЕ является производство рекламной продукции (анимации) с красочным детальным представлением рабочих процессов изделия (обычно внутренних, скрытых от внешнего взгляда).

Результаты моделирования на данном этапе ЖЦИ используются также в качестве наглядных инструментов, поясняющих отличительные преимущества конкретного продукта или отдельных конструкторско-технологических решений.

2. *На этапе проектирования.* Продукция гидроприводостроения отличается высокой вариативностью конструкций, жесткими допусками и разнофизичным характером внутренних рабочих процессов и внешних факторов. Чтобы минимизировать число дорогостоящих изменений, вносимых на поздних этапах разработки, конструкторам необходимо учитывать соображения технологичности деталей изделий уже на этапе проектирования.

Интегрированные средства проектирования позволяют предприятиям сокращать себестоимость и сроки выпуска продукции. Это повышает степень повторного использования и адаптации проектных решений, что, в свою очередь, также снижает себестоимость. Поддержка инноваций обеспечивается на основе постоянной совместной работы сотрудников в общем информационном пространстве.

Для этапа конструкторской проработки существует наибольшее количество методических работ и опытной реализации использования данных инструментов.

Методики применения аналитических средств и информационных технологий формализованы и методологизированы до мелочей, включая многоуровневые модели, схемы, процедуры оптимизации и мультидисциплинарность.

Применительно к гидроприводостроению методы автоматизации моделирования приводов и их элементов нашли отражение в работах И.П. Норенкова, Я.А. Даршта, А.В. Пузанова, Д.В. Багаева, С.А. Воронова и др. [4, 6, 10–12] с различной детализацией области и объектов исследований. Суть работ заключается в переносе исследовательской составляющей процесса конструирования в область математического моделирования.

В работах Я.А. Даршта рассматривается методология математического моделирования рабочих процессов в элементах гидроприводов (в гидромашинах и гидроаппаратуре), доведенная до инженерных методик, позволяющих в полуавтоматизированном режиме получать конструктивные элементы, отвечающие требованиям ТЗ [10].

В работах С.А. Воронова дана методология процессов проектирования гидромашин [11].

В предыдущих работах автора предлагается комплексный подход к моделированию рабочих процессов в элементах гидроприводов для гидромашин и гидроаппаратов, учитывающий мультифизичный характер этих процессов и их взаимовлияние [6]. Так, на рис. 3 представлена совмещенная картина гидродинамики в зоне всасывания в камеру блока цилиндров рабочей жидкости и напряженно-деформированного состояния поршня при контакте с гильзой блока цилиндров. Данный подход позволяет прогнозировать (планировать) ресурс изделия до начала его производства и эксплуатации.

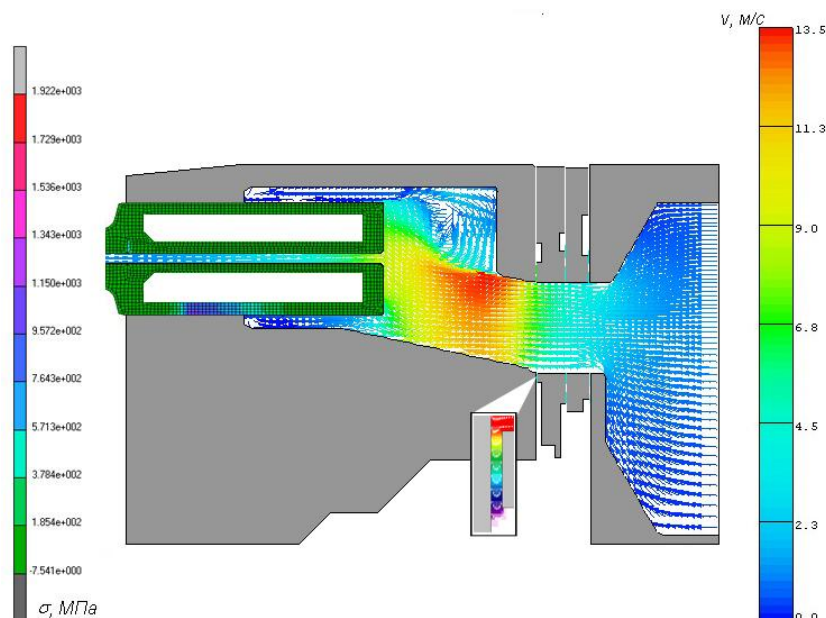


Рис. 3. Результат мультидисциплинарного анализа ходовой части гидромашин

В указанных работах рассматривается детализация процесса конструкторской проработки изделия на микро-, макро- и метауровнях. Они ориентированы на различных потребителей моделей: от инженера со средней квалификацией до аналитика и инженера-исследователя, владеющих должными знаниями для проведения процедур многокритериальной оптимизации конструкции гидропривода.

В процессе работ по моделированию и аналитическим исследованиям проводится либо наработка базы знания (для экспертной системы или системы принятия решений), либо построение инженерных методик (на основе полученных коэффициентов и зависимостей), либо углубленная детализация конструкторских решений.

3. *На этапе технологической подготовки производства.* Подход, основанный на использовании 3D-моделей деталей и сборок, позволяет устранить необходимость выпуска дополнительной документации с простановкой технологических параметров путем встраивания технических требований непосредственно в 3D-модель. Product Manufacturing Information (PMI) обеспечивает запись технических требований в 3D-модель (ГОСТ 2.052–2013), что в полной мере помогает раскрыть замысел конструктора, устранить необходимость в использовании 2D-чертежей и гарантирует, что готовое изделие будет соответствовать своему функциональному назначению. Данный подход относится к организационным мероприятиям, призванным сократить сроки конструкторско-технологической подготовки производства гидроприводов и их элементов.

Встроенные в 3D-модель данные PMI оптимизируют целый ряд производственных процессов. Такие данные применяются при автоматическом анализе размерных цепей и оценке наихудшего варианта сочетания допусков при сборке. Кроме того, данные PMI используются при разработке документации на импортированные модели деталей и узлов. К PMI можно применить логические ограничения, что позволяет интеллектуально реагировать на изменения в представлении основной модели изделия и появление его новых исполнений или новых ва-

риантов конструкции отдельных элементов. Кроме того, эта информация обеспечивает автоматическую генерацию управляющих программ для станков с ЧПУ и координатно-измерительных машин.

Большинство работ по использованию аналитических инструментов для технологической подготовки производства изделий посвящено отработке на технологичность и моделированию технологических процессов для обеспечения заданного качества продукции. В частности, средства инженерного анализа применяются для моделирования процессов обработки материалов резанием в качестве экспресс-оценки эффективности используемых режущих инструментов [7]. На рис. 4, *а* изображена форма режущей пластины по ГОСТ 17163-90, на рис. 4, *в* – форма режущей пластины фирмы Sandvick, соответствующие формы стружки при обработке этим инструментом – на рис. 4, *б* и *г*.

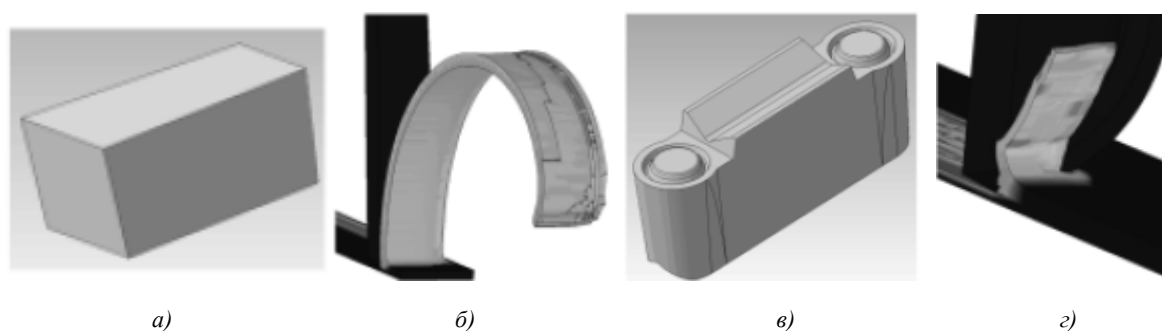


Рис. 4. Форма режущего инструмента и форма стружки при обработке

Приведенные выше результаты позволяют построить график зависимости формы и величины стружки от параметров металлообработки, что дает возможность исключить ситуации наматывания стружки на деталь и инструмент во время обработки.

Кроме того, проводится анализ жесткости всей системы СПИД (станок – приспособление – инструмент – деталь) [8] и деформации инструмента в частности (рис. 5). Эти результаты позволяют обоснованно подбирать инструмент и проектировать оснастку, обеспечивающие заданные конструктором допуски на размеры и форму деталей.

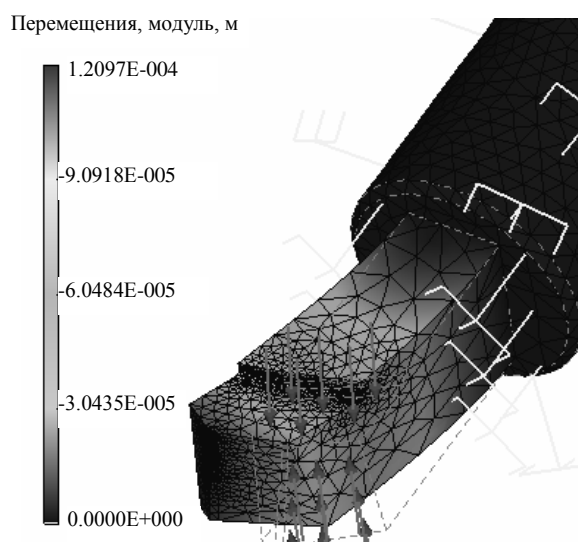


Рис. 5. Результаты анализа деформации инструмента

Для технологических процессов повышенной сложности (например, растачивания глубоких отверстий на токарных станках) выполняется анализ теплообмена, протекающего между рабочим инструментом, смазочно-охлаждающей жидкостью (СОЖ) и обрабатываемой деталью

с целью определения гидродинамических параметров, оптимальных для штатного функционирования инструмента и качественной обработки деталей [9]. На рис. 6 показано распределение температуры по детали, инструменту и СОЖ.

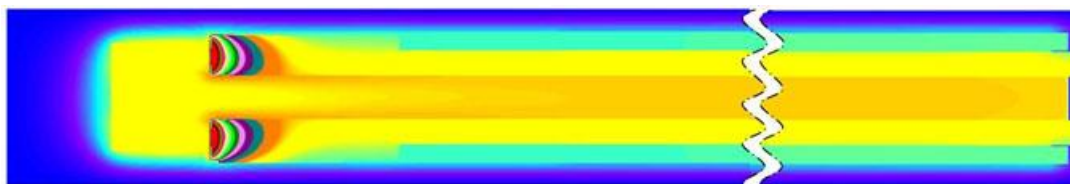


Рис. 6. Поля температуры в плоскости симметрии модели при температуре резания 600 °С и температуре подаваемой СОЖ 35° С

Последней тенденцией моделирования процесса обработки детали стало определение износа инструмента в зависимости от режимов резания (рис. 7).

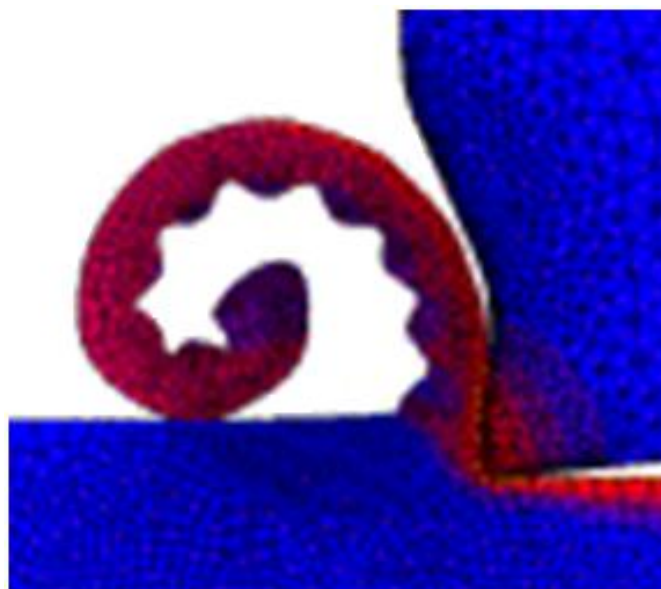


Рис. 7. Моделирование процесса резания

Аналитические средства анализа технологических процессов позволяют исследовать широкий спектр стратегий многокоординатной обработки сложных поверхностей (включая параллельную обработку), полностью устранить риск столкновения инструмента, обосновать изменение размеров при обработке, обеспечить параметры контроля и управления оборудованием.

На этапе технологической подготовки осуществляются также работы конструкторского характера: проектирование оснастки, приспособлений, производственных линий и участков. В решении данных задач используются инструменты аналитических исследований аналогично описанному выше этапу проектирования.

Применительно к производственному комплексу гидроприводов реализация технологии адаптивной обработки изделия требует наличия зависимостей усилий и напряженно-деформированного состояния инструмента и детали от параметров и режимов резания.

4. *На этапе производства.* Модельные исследования проводятся на макро- и метаяровнях для планирования производственной загрузки, логистики, на микроуровне – для моделирования электропитания оборудования, систем охлаждения и вентиляции производственных помещений или для моделирования загрязнений выбросами (рис. 8), а также иных катастроф техногенного и природного характера, вероятных для данного типа или места производства. Отсутствие виртуальных (математических) моделей затрудняет поиск проблемных мест, причин отказов и т. п.

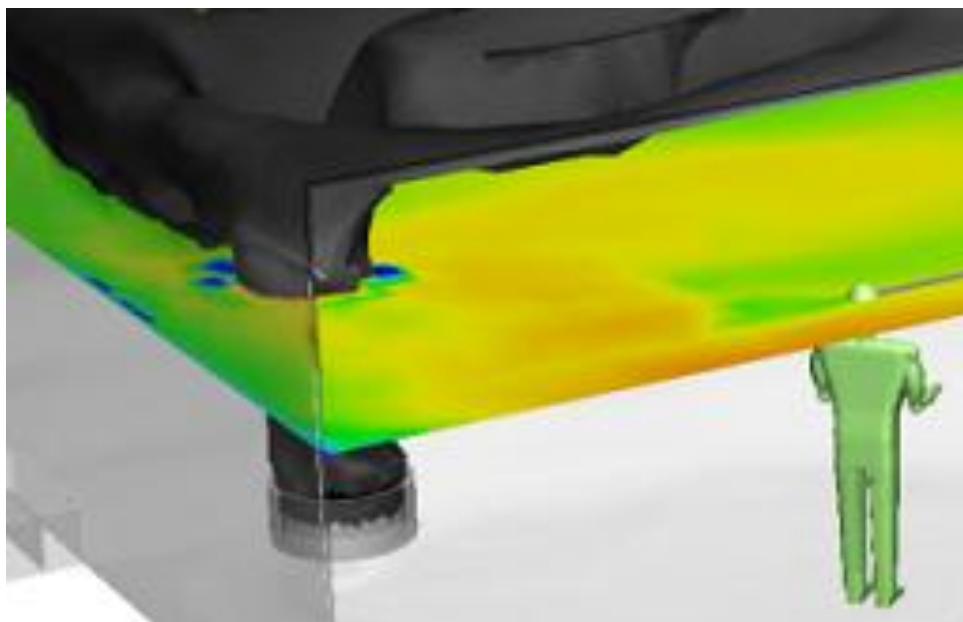


Рис. 8. Моделирование загрязнений от продуктов производственного процесса

Использование моделирования на этапе контроля обеспечивает анализ изменения допусков при изменении температуры.

5. *На этапе испытаний.* Модельные исследования проводятся для процессов, трудно-реализуемых на практике либо аварийно-экстремального характера (взрыв, краш-тест и т. п.), в основном для сертификации продукции на соответствие отраслевым нормам и правилам.

На рис. 9 показаны распределительный диск гидромашины, разрушенный в результате испытаний, и результат моделирования, призванного определить значения внешних факторов воздействия, при которых произошло данное событие [6].

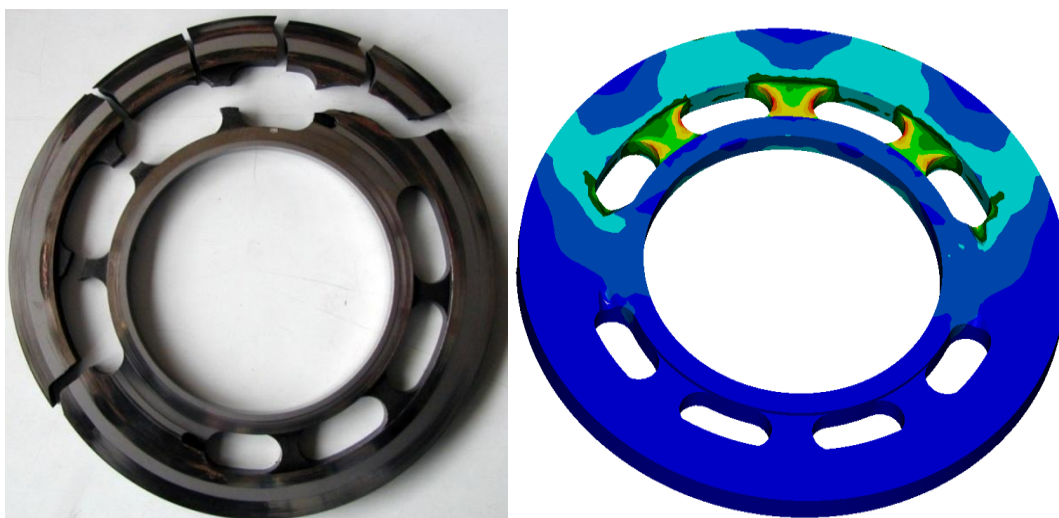


Рис. 9. Анализ причин разрушения детали гидромашины – распределителя стального

Другим направлением в использовании аналитических моделей на этапе испытаний является моделирование ускоренных ресурсных испытаний. Самым важным моментом на данном этапе ЖЦИ является формирование обратных связей с моделями этапов согласования технического задания, конструкторской проработки вариантов изделия и отработки технологичности его производства для верификации принятых допущений и оценки точности и адекватности моделей и конструктивных решений.

6. *На этапе эксплуатации.* Исследования поведения изделия на этапе эксплуатации проводятся, как правило, для анализа причин отказов (штатная нагрузка, перегрузка, недокументированное использование и т. п.) с целью определения ответственного или виновного в аварии, а также для анализа долговечности (рис. 10) и определения остаточного ресурса при повторном использовании изделия, бывшего в эксплуатации [13].

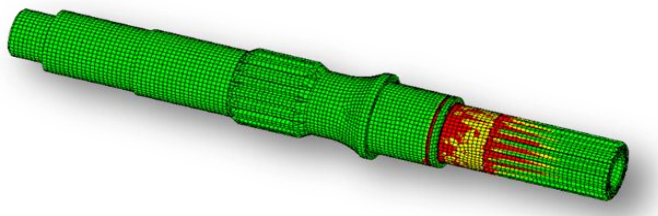


Рис. 10. Результат моделирования запаса надежности (по критерию усталости) вала гидромашинны при количестве циклов, соответствующем 3000 ч работы

Применение средств моделирования для данного этапа жизненного цикла (обслуживание, текущий и капитальный ремонт) обосновывает сроки межремонтного обслуживания, обеспечивая высокую эффективность и бережливость данного этапа, а также сокращение расходов на выполнение гарантийных обязательств и сервисное обслуживание.

7. *На этапе утилизации.* Моделирование изделия при утилизации проводится для определения возможных методов и средств выполнения этой задачи, аргументируется также повторное использование деталей или узлов в зависимости от определенного срока их службы (например, если количество времени до разрушения детали значительно превышает срок службы изделия в целом).

2. Перспективы развития аналитических средств поддержки жизненного цикла изделий

Как следует из приведенного выше материала и примеров использования аналитических средств на различных этапах ЖЦИ, информационные технологии прочно обосновались в практике машиностроительных предприятий (включая гидроприводостроение). Сложившаяся тенденция в развитии интерфейсов программных систем (ленточных, контекстно-зависимых) уже сейчас обеспечивает смену функционала системы при том же информационном содержании активного экрана. При сохранении производителями программных продуктов данной тенденции следует рассчитывать на создание единого интерфейса, меняя содержимое которого, можно будет «пролистать» ЖЦИ от замысла дизайнера до конструктивной проработки, от технологической подготовки производства к изготовлению и эксплуатации изделия – до его утилизации. Развитие вычислительной техники и прикладного программного обеспечения позволит анализировать изделия более подробно, проводить исследования взаимовлияния факторов конструкторской проработки, технологических ограничений, производственных возможностей и экономических факторов.

Кроме того, развитие математического аппарата, программных комплексов и средств вычислительной техники позволит более широко использовать мультидисциплинарный подход к аналитическому сопровождению ЖЦИ [6]. Данная информационная технология даст возможность более реалистично описывать модели изделия, быстрее получать результат (без итераций между однодисциплинарными моделями) и, соответственно, иметь на выходе увеличение качества и надежности изделий гидроприводов и уменьшение количества натуральных экспериментов и брака.

Заключение

Концепция ЖЦИ на практике применяется на большинстве машиностроительных предприятий. Использование единых стандартов при формировании моделей позволяет использовать их на всех этапах ЖЦИ, а также на других (смежных) предприятиях.

Интеграция систем управления ЖЦИ в бизнес-процессы предприятия обеспечивает его стратегические преимущества, включая повышение эффективности и темпов производства, уменьшение числа ошибок, сокращение сроков выхода изделий на рынок.

Использование единых форматов данных и принципов формирования семейства моделей изделия обеспечивает передачу информации без потерь между этапами эскизного и технического проектирования, численного моделирования и изготовления, что значительно сокращает сроки подготовки производства. Применение единого информационного пространства и современного мультидисциплинарного программного обеспечения позволяет проводить аналитические исследования на всех стадиях ЖЦИ, уменьшать количество фальш-итерационных процессов и реальных опытных образцов.

В данной статье приведен общий подход к аналитическому сопровождению жизненного цикла гидроприводов, поскольку в настоящее время подобный комплексный подход реализован на предприятии лишь частично. Поэтому в ближайшее время предстоит интенсификация работ в данном направлении, результаты которых будут представлены в следующих статьях автора.

Список литературы

1. Стратегия развития отрасли информационных технологий в Российской Федерации на 2014–2020 годы и на перспективу до 2025 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 1 ноября 2013 г. № 2036-р. – М., 2013. – 51 с.
2. Система разработки и постановки продукции на производство. Термины и определения : Р 50-605-80-93. – Утв. 9.07.1993. – М. : Изд-во стандартов, 1993. – 45 с.
3. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем : ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288–2005. – Введ. 29.12.2005. – М. : Изд-во стандартов, 2005. – 65 с.
4. Норенков, И.П. Автоматизированное проектирование : учебник. Сер. Информатика в техническом университете / И.П. Норенков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 188 с.
5. Баекер, М. Поддержка моделирования работы предприятий авиационно-космической и оборонной отраслей / М. Баекер // CAD/CAM/CAE Observer. – 2014. – № 6(90). – С. 24–29.
6. Пузанов, А.В. Опыт использования современного мультифизического ПО в разработке электрогидроприводов / А.В. Пузанов // САПР и графика. – 2008. – № 4. – С. 75–79.
7. Криворучко, Д.В. Моделирование процессов обработки материалов резанием / Д.В. Криворучко, М. Г. Сторчак, В.А. Залого // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2009. – № 4(115). – С. 46–48.
8. Пестрецов, С.И. Компьютерное моделирование и оптимизация процессов резания : учеб. пособие / С.И. Пестрецов. – Тамбов : Изд-во Тамбовского гос. техн. ун-та, 2009. – 104 с.
9. Комаров, В.Н. Математическое моделирование. Оптимальное управление / В.Н. Комаров, А.В. Грезина, С.А. Артемьева // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2011. – № 3(2). – С. 87–91.
10. Даршт, Я.А. Методы и модели автоматизированного анализа и синтеза элементов гидропривода : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.12 / Я.А. Даршт ; Владимирский гос. ун-т. – Ковров, 2005. – 43 с.
11. Воронов, С.А. Методы расчета и проектирования аксиально-поршневых гидромашин силовых регулируемых гидроприводов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.02 / С.А. Воронов ; Ковровская гос. технол. акад. – Ковров, 2008. – 36 с.
12. Пузанов, А.В. Автоматизация конструкторско-технологической подготовки производства в ОАО «СКБ ПА» / А.В. Пузанов, К.Е. Куванов, А.Н. Часовских // САПР и графика. – 2009. – № 11. – С. 25–28.
13. Пузанов, А.В. Расчет усталости в Autodesk Simulation Multiphysics / А.В. Пузанов // Autodesk community magazine. – 2013. – № 1(4). – С. 48–52.

Поступила 11.01.2016

*ОАО «Специальное конструкторское бюро
приборостроения и автоматики»,
Ковров, ул. Крупской, 55
e-mail: avp@oao-skbpa.ru*

A.V. Puzanov

INFORMATION SUPPORT OF HYDRODRIVES LIFECYCLE

The paper discusses the ways of increasing the efficiency of production of hydraulic drives by using the information support of product life cycle. The article describes examples of the use of software systems for analyzes at different stages of the life cycle of hydraulic drives.