

которые могут быть увязаны в распределенные сети автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП). Анализ результатов проведенных работ, показал, что применение приведенного выше подхода с использованием ПЛИС, позволяет значительно уменьшить габариты готового изделия, настраивать пользовательскую функцию без изменения топологии печатной платы и значительно снизить уровень электромагнитных влияний проводников на печатной плате. Это позволило существенно повысить надежность готового изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.xilinx.com; 2. XILINX// Перепрограммируемые в системе ПЛИС CPLD семейства XC9500// Краткое техническое описание. – 35с.; 3. Хацук В.А. Проектирование цифровых схем на ПЛИС с использованием САПР XILINX ICE.// Электроника, 2003 (спецвыпуск).

УДК 631.3:004

А.А. Дюжев, В.И. Козлов

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИМЕНЕНИИ К РАЗРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

*РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике»
Гомель, Беларусь*

Пять-шесть лет назад это казалось фантастичным или даже абсурдным, но сегодня создание экспериментального образца в течение четырех-пяти месяцев, воплощение в металле конструкторской идеи по реализации технологического процесса уборки и первичной обработки сельскохозяйственной продукции стало событием обыденным и даже привычным. Так, в 2004 году изготовлены и прошли испытания несколько новых машин, созданных РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике» (ПО «Гомсельмаш») :

Косилка-плющилка ротационная трехсекционная КПР-9 (рис. 1). Предназначена для скашивания бобовых и злаковых культур и трав с плющением и без него и укладкой их на стерню в три валка.



Рис.1. Косилка-плющилка ротационная трехсекционная КПР-9

Комбайн льноуборочный самоходный КЛС-1,7 "Полесье" (Рис. 2) Предназначен для тербления стеблей льна-долгунца в период ранней желтой и желтой спелости, очеса семенных коробочек, сбора очесанного вороха в бункер и расстила стеблей в ленту. Комбайн может быть использован для тербления льна с расстилом стеблей в ленту без очеса семенных коробочек.



Рис. 2 Комбайн льноуборочный самоходный КЛС-1,7 "Полесье"

Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-10К (Рис. 3). Предназначен для прямой и раздельной уборки зерновых колосовых культур, а с применением специальных приспособлений - для уборки зернобобовых, крупяных культур и семенников трав, на равнинных полях с уклоном до 8°

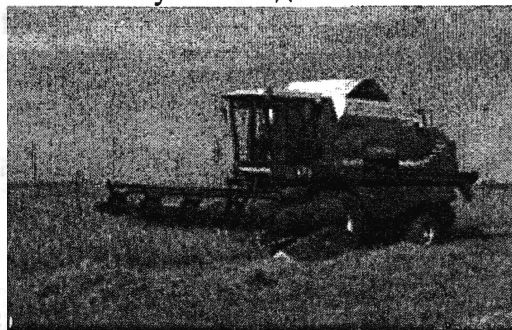


Рис. 3. Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-10К

Полуприцепной картофелеуборочный комбайн ПКК-2-02. (Рис 4). Предназначен для уборки картофеля с междурядьями 70 или 90 см на легких и средних почвах с содержанием в почве камней размером до 150 мм в количестве не более 15 % к массе картофеля, отделения картофеля от примесей, накопления картофеля в бункер с последующей выгрузкой в транспортное средство.

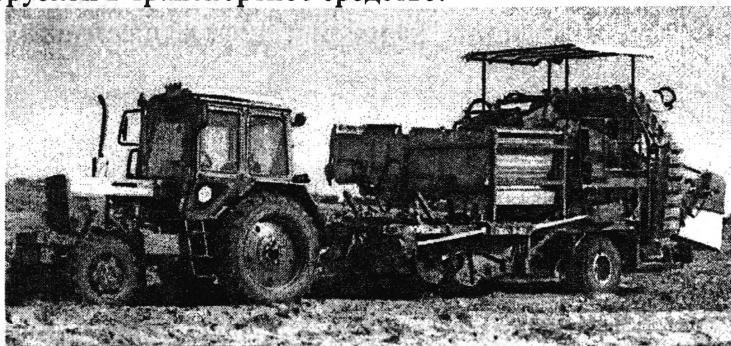


Рис 4. Полуприцепной картофелеуборочный комбайн ПКК-2-02

В 2005 году будут выпущены промышленные партии вышеназванных машин.

Основным отличием сельскохозяйственной техники от других мобильных машин является то, что она должна надежно выполнять соответствующий технологический

процесс при варьирующихся в широком диапазоне параметрах агрофона (урожайность, влажность, тип почвы и т.п.), зачастую в неблагоприятных погодных условиях, свободно передвигаясь по бездорожью. Без преувеличений можно сказать, что машины, производимые ПО «ГОМСЕЛЬМАШ», являются если не заводами, то, по крайней мере, автоматизированными линиями на колесах по уборке и первичной обработке зерновых, кукурузы, сахарной свеклы, льна, картофеля и т.д. Все это усложняет задачу разработки конструкции сельхозмашины, требует многочисленной команды конструкторов с различной специализацией.

Широкое применение информационных технологий на всех этапах разработки, изготовления, испытаний, доводки новых машин и уборочных комплексов позволило организовывать эффективную совместную работу больших групп разработчиков, технологов, испытателей и решать стоящие задачи в кратчайшие сроки. Основой технической базы для плодотворной работы современного конструкторского предприятия является наличие производительной 100-Мегабитной компьютерной сети, охватывающей все службы и подразделения ГСКБ, и объединяющей 180 компьютеров.

Процесс проектирования, как известно, начинается со сбора информации о лучших аналогах, выпускаемых крупнейшими мировыми производителями. Наряду с традиционными способами (выезды на специализированные выставки, знакомство с импортной техникой, закупленной лучшими хозяйствами, сбор рекламной информации) в настоящее время невозможно себе представить эту работу без использования сети INTERNET. В ГСКБ используется выделенная линия доступа в INTERNET со скоростью 64 Кб/с, с возможностью выхода в сеть с любого компьютера внутренней сети организации. Особенно актуально использование этого канала при поиске информации о производителях и поставщиках материалов и комплектующих. Вместе с тем необходимо отметить, в странах СНГ еще не все предприятия-поставщики имеют достойное WEB-представительство.

На основе собранных материалов принимается решение о принципиальной концепции, параметрах, структуре, способе реализации новой машины. На данном этапе уже в общих чертах определено, какие основные узлы (шасси, кабина, моторная установка, трансмиссия, рабочие органы и т.д.) будут у образца и принято решение о наиболее принципиальных требованиях, которым они должны удовлетворять. Для сокращения общего цикла создание конструкций крупных узлов и агрегатов ведется параллельно конструкторами нескольких отделов, специализирующихся на разработках типовых объектов. В ГСКБ помимо специализации отделов по типам машин (конструкторский отдел жаток, конструкторский зерноуборочных комбайнов и т.д.) существует специализация конструкторов по узлам, используемым во многих машинах (кабины, механические редукторы, моторные установки и т.п.) и, поскольку во всех машинах присутствуют гидравлические и электрические элементы, существует специализированный отдел гидро- и электрооборудования. На этом этапе решается ряд серьезных организационных вопросов. Как рационально распределить ограниченные ресурсы? Как обеспечить параллельность выполнения работ, учитывая, что допущение об автономности агрегатов машины довольно условно? Как оперативно контролировать ход разработки и изготовления? (Отдельные детали и узлы изготавливаются еще до того момента, как будет «прорисована» вся машина в целом). Как добиться согласованности, чтобы узлы и агрегаты, разработанные разными людьми, зачастую в разных конструкторских отделах, благополучно «срослись» в единое целое - работоспособную машину?

Сложность проектов, резко возросшая в прошлом веке, стимулировала создание новых методов анализа и управления. Наиболее значительным, известным и широко распространенным из них является метод PERT-CPM, или метод сетевого

планирования и управления. Его прародителями являются методы СРМ – «метод критического пути» и PERT - «техника анализа и оценки программ», разработанные соответственно корпорациями "Дюпон" и "Локхид" в 1956 году. Оба метода в отдельности показали великолепные результаты и быстро распространились среди авиа-, корабле- машино- строителей, а также всех, кому приходилось иметь дело со сложными уникальными проектами.

При использовании метода сетевого планирования каждый проект представляется в виде набора отдельных операций (работ). Операции связаны между собой различными условиями. Наиболее часто встречается связь "конец-начало" – то есть работа не может быть начата до того, как будет закончена предыдущая (для "классического" PERT-CPM – это единственно возможный тип связи). Примером такой цепочки является сборка машины: сначала изготавливается рама, и только после этого монтируется моторная установка, кабина, приводы и т.д., причем технология сборки диктует жесткую последовательность действий.

В реальности значительная часть работ может выполняться параллельно. Например, изготовление деталей, узлов и механизмов происходит в основном параллельно, но невозможно собрать крупный узел, если еще не готовы входящие в него подузлы и детали. То есть одна работа может быть связана с началом или окончанием не одной работы, а нескольких. Цепочка превращается в сеть (отсюда и название: диаграмма, отображающая сеть работ, называется сетевым графиком). Эта сеть является ориентированной - имеет явно заданные начальный и конечный узлы. Двигаться по этой сети можно только в направлении финиша, циклы (участки с повторными прохождениями) запрещены.

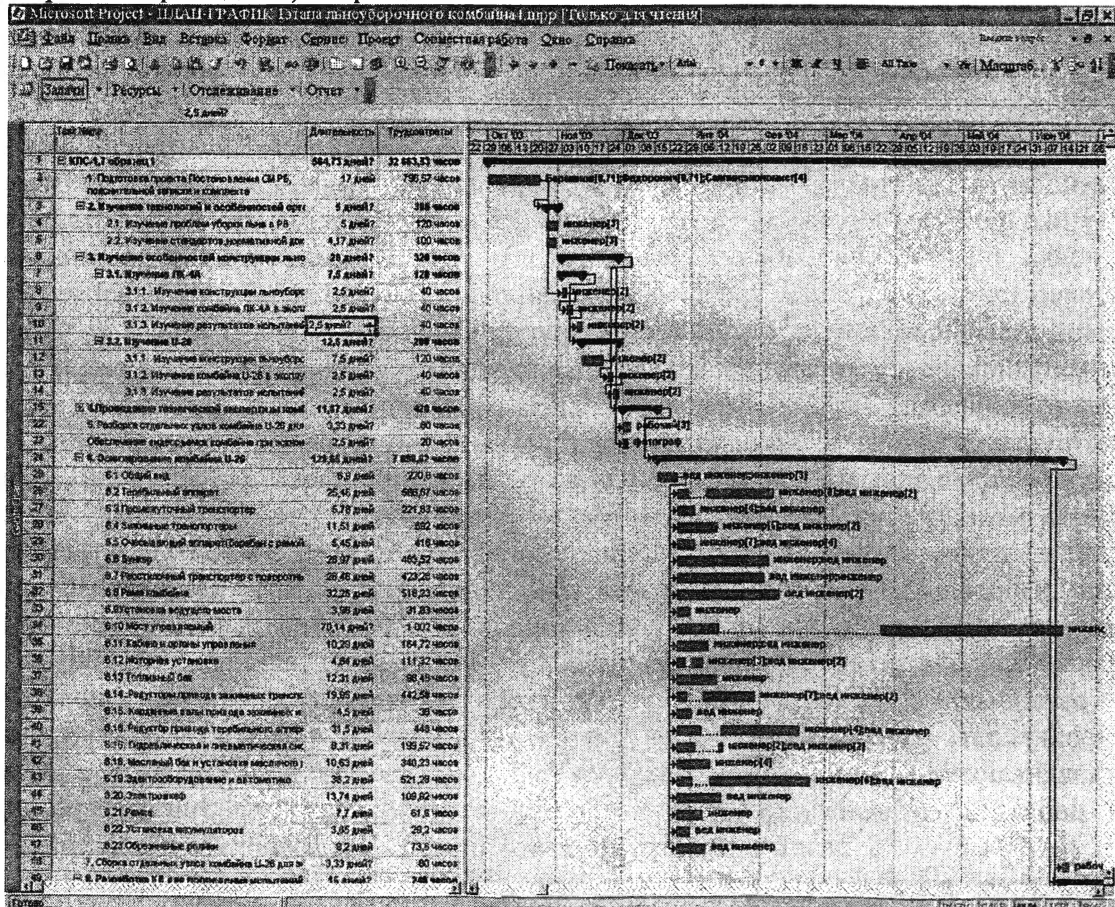


Рис. 5. Представление сетевого плана в виде диаграммы Гантта в пакете Microsoft

Длительность осуществления проекта в целом определяется критическим путем – т.е. цепочкой работ, для которой характерна наибольшая длительность выполнения.

Практически подлежат учету и оптимизации в проекте 2-3 вида ресурсов - материалы, рабочее время людей и оборудования. Все виды ресурсов имеют общее свойство – стоимость. Бюджет проекта, как правило, жестко ограничен, что влияет на возможность его исполнения в срок и саму его осуществимость.

За каждой из работ "закрепляются" свои ресурсы. Один и тот же ресурс (например, конструктор или рабочий) обычно связан с несколькими работами. Это может привести к "перегрузке" ресурса (когда нагрузка будет составлять более 100% от его номинальной "мощности"). Или наоборот - какой-то ресурс в определенный момент времени будет "недогружен". Сетевое планирование позволяет предвидеть и предотвращать подобные ситуации путем "маневрирования" сроками и интенсивностью работ.

Итак, при использовании метода сетевого планирования проект становится обозримым и управляемым с любой степенью детализации. Еще до начала разработки появляется возможность определить минимальную длительность проекта. Используя резерв времени, можно "маневрировать" сроками выполнения работ, избегая как чрезмерной, так и недостаточной загрузки рабочих ресурсов. Появляется возможность сгладить кратковременную максимальную потребность в ресурсах и сэкономить, таким образом, на численности сотрудников и оборудования для выполнения той же работы. На любой стадии проекта можно для любого из его участников определить вид и объем работ, который ему следует выполнять, и при необходимости оперативно вносить корректировки. Эту работу в ГСКБ ведет специально созданный отдел стратегии НИОКР и финансового анализа.

В современных условиях конструктору требуется инструмент, который создаст условия для коллективной работы над проектом. В качестве пакета твердотельного моделирования в ГСКБ используется система Pro/Engineer, которая позволяет дизайнеру и конструктору эффективно на мировом уровне создавать как входящие в проект детали и сборочные единицы, так и дизайн-проекты и машины в целом. Пакет обеспечивает обработку на современных ПЭВМ насыщенных сборочных единиц, включающих тысячи деталей и узлов с достаточно сложной геометрией. Pro/ENGINEER базируется на конструктивных элементах (features), которые несут в себе информацию об объектах, т.е. объектно-ориентирован. Любые изменения в модели моментально отражаются на всех этапах проектирования. В результате разработка конструкции ведется с меньшим числом ошибок и более качественно, расходуя на это меньше средств, чем при использовании 2-мерной системы CAD. Вся система построена на единой базе данных, что и обеспечивает полную ассоциативность. Работа целой группы специалистов разного профиля проходит синхронно. "Правая рука всегда знает, что делает левая", проект координируется с максимальной эффективностью, и в результате достигаются наилучшие решения. Таким образом, достигается настоящее комплексное проектирование – возможность работать параллельно во всех звеньях процесса. Для иллюстрации на рис 6 показаны твердотельные модели машин, созданных по описанной технологии.

Однако еще не все вопросы в части оформления чертежей в Pro/Drawing в соответствии с ЕСКД нашли у нас свое разрешение. ЕСКД создавался много лет назад, и с тех пор технология проектирования претерпела значительные перемены, а стандарты, оставаясь в прежнем виде, в отдельных случаях сдерживают применение передовых технологий, применяемых ведущими мировыми производителями машин. Представляется разумным двигаться встречно, как смягчая требования ЕСКД (приближая его к ISO), так и проводя локализацию Pro/ENGINEER.

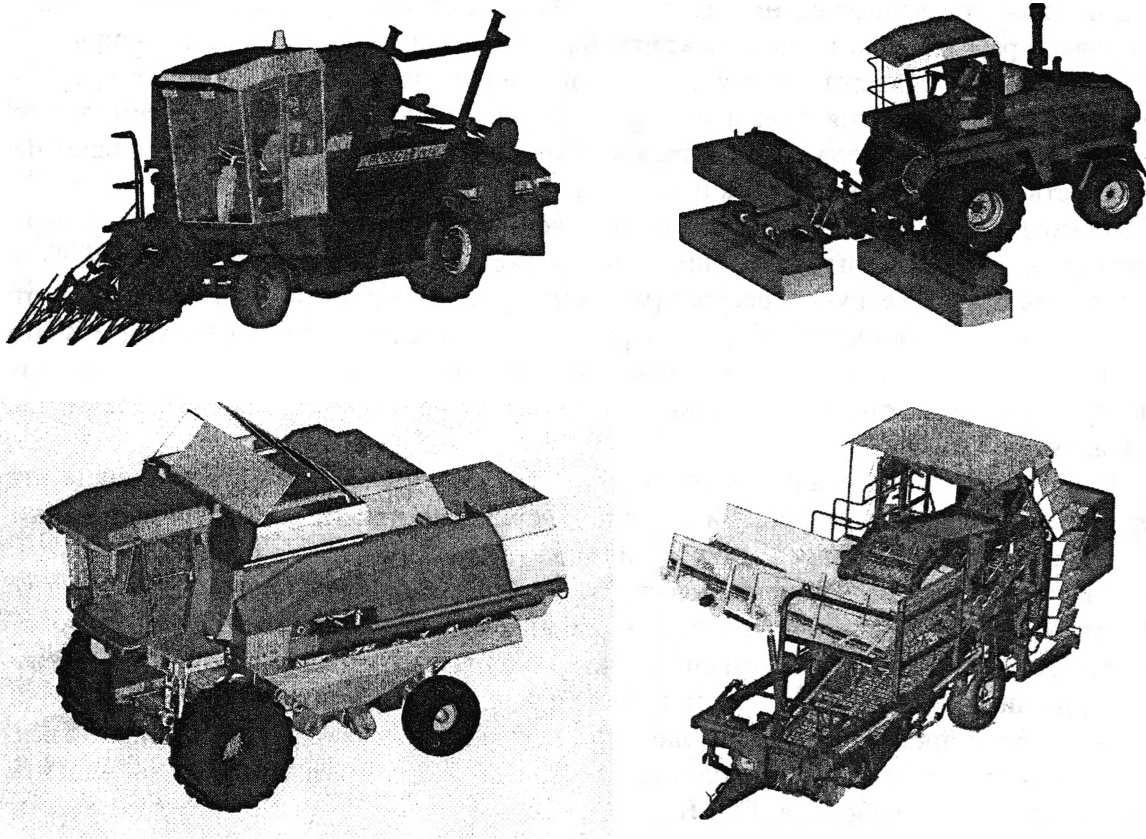


Рис 6 Твердотельные модели машин, созданные в Pro/ENGINEER

Важнейшим преимуществом Pro/ENGINEER перед традиционными методами проектирования является сквозной цикл изготовления изделия: конструкторское проектирование - технологическое проектирование - инженерный анализ - управляющие программы, хотя это качество еще не используется в полном объеме из-за того, что оборудование с ЧПУ весьма дорогостоящее, и замена им устаревшего универсального происходит постепенно. Но операции, которые уже выполняются на современных системах, например, лазерный раскрой и гибка на станках с ЧПУ, дают видимый результат – точность, чистоту, повторяемость, отсутствие последующей подгонки, отличный внешний вид изделия и др.

Невозможно представить себе проектирование сельскохозяйственной машины без прочностных расчетов деталей и узлов. Математическим инструментарием ГСКБ является пакет конечноэлементного (далее по тексту КЭ) анализа ИСПА (Россия). При характерной для сельхозмашин работе конструкции в пределах упругой деформации пакет ИСПА обеспечивает расчет модели объемом до 60..80 тыс. степеней свободы на ПЭВМ Pentium IV-2800 с ОЗУ 512 МБ за 10-15 мин., причем создание КЭ модели рамы комбайна специалистом при импортировании модели созданной в Pro/ENGINEER требует несколько часов. Более подробно вопросы использования Интегрированной Системы Прочностного Анализа (ИСПА) будут освещены в другом докладе представленном на данной конференции.

Силовой анализ механизмов в ГСКБ проводится с использованием ПЭВМ общего назначения по гибкой технологии. На базе подготовленной библиотеки объектов, содержащих свойства звеньев механизма, их связи, скорости и нагрузки, составляется кинематическая модель механизма, которую легко выверить и отладить за считанные минуты. В процессе пошагового движения входного звена происходит пересчет

координат всех элементов механизма и определение всех передаточных функций путем численного дифференцирования. Поскольку на расчет полного цикла движения из 20..50 шагов на ПЭВМ класса Pentium 100 и выше затрачивается менее чем 0,1 с, даже такие заурядные средства позволяют реализовывать процедуры многопараметрической оптимизации. В целевую функцию включаются с соответствующими весовыми коэффициентами как элементы, описывающие приближение к заданным качествам механизма, так и ограничения на возможные области решения в виде штрафных функций.

Многолетняя практика показала, что для решения таких задач наиболее эффективен метод координатного спирального спуска. Методы, требующие непрерывности и дифференцируемости функции, чаще всего неработоспособны из-за дискретности некоторых оптимизируемых параметров и резко нелинейных штрафных функций (ограничения на область допустимых значений, как параметров, так и промежуточных результатов вычислений). По той же причине эффективно использование генетических методов оптимизации, которые специалисты ГСКБ применяют для решения различных задач условной оптимизации. Получаемые этим методом решения (экстремумы целевой функции) на практике в сравнении с методом спирального спуска на 5..10% лучше при соизмеримой продолжительности расчетов.

Существенное упрощение и переход к максимально «прозрачным» методикам исследований при использовании массовых ПЭВМ возможны и в прикладных задачах управления надежностью машины.

Для успеха проекта требования к надежности конструкции машины и ее элементов не должны задаваться только лишь по достигнутому уровню аналогов. Как минимум, распределение интенсивности отказов сложной механической системы следует устанавливать с учетом длительности использования отдельных подсистем, достигнутого технического уровня надежности отдельных подсистем и их элементов и критичности отказов подсистем. В целом же оно подлежит оптимизации по критерию минимума отнесенных к единице произведенной машиной полезной работы затрат в народном хозяйстве на производство, эксплуатацию, ремонт (восстановление), убытков в результате потерь урожая и т.п. при простое машины. Численные оценки затрат на каждый ремонт или убытков от простоя в настоящее время проблемы не представляют. Для получения достоверной оценки показателей надежности эксплуатируемых изделий в ГСКБ в 2000–2004 годах применяется следующая методика.

Вместо результатов контрольных или периодических испытаний отдельных экземпляров изделий для статистической оценки эксплуатационной надежности ГСКБ использует данные о наработке на отказ всех машин гарантийного парка. Эти данные имеются в базе данных торгового завода ПО «Гомсельмаш», который осуществляет техническое обслуживание и гарантийный ремонт машин. Для получения необходимой информации специалистами отдела надежности ГСКБ при участии автора разработана соответствующая форма, заполнение которой является одним из условий гарантийного обслуживания.

Информация об отказах, включающая тип и номер машины, наработку до отказа, обозначение узла (детали) и описание отказа, регулярно передаются по компьютерной сети из торгового завода ПО «Гомсельмаш» в ГСКБ, где и выполняется дальнейшая обработка. Данные сортируются по номерам узлов (деталей), номерам машин, проверяется наличие повторного отказа узла на одной и той же машине. По каждому узлу, который в дальнейшем будет включен в схему анализа показателей надежности машины в целом, формируется массив времен наработки на отказ. Другой исходной информацией для анализа является массив значений наработки машин в течение гарантийного периода. Определяются параметры распределения наработки машин за

гарантийный период (а по сути – времен наблюдения за изделиями), а затем производится анализ классического случая выборки с цензурированием справа типа I.

Первоначально выполняется оценка и выбор закона распределения времени наработки на отказ, наиболее точно соответствующего данному узлу или детали. В большинстве случаев, включая сложные сборочные единицы вплоть до ДВС, оказались пригодны распределения Вейбулла и логнормальное.

После такой обработки всех комплектующих изделий и основных сборочных единиц, определяющих надежность машины, должна выполняться оптимизация требований к надежности, включая выбор комплектующих изделий из возможных вариантов соотношений цена-надежность. В результате перебора вариантов определяется комплектация, обеспечивающая наименьшую стоимость уборки единицы урожая за жизненный цикл машины, включая убытки от простоя при отказе.

Практика последних лет доказала эффективность применение ПЭВМ в промышленном исполнении для автоматизации стендовых испытаний и исследований. При замене комплекса на базе СМ-1420, управлявшего стендом испытаний полнокомплектных машин ГСКБ, на промышленную ПЭВМ Pentium II-450 и крейт с комплектом плат ЦАП, АЦП и усилителей, обеспечены около 100 различных каналов управления и регистрации сигналов, опрос которых производится с частотой 100 Гц. Стоимость новой системы составила менее 10 тыс. долларов США. Для тензометрических измерений с 1996 г. ГСКБ используется портативный аппарат с 16-канальным широкополосным АЦП и цифровым магнитографом и пакетом обработки на базе ноутбука с процессором Pentium-166.

В целом ГСКБ на основе полученного опыта эксплуатации ИТ-средств отказалось от закупки дорогостоящих рабочих станций с RISC-процессорами, предпочитая за умеренные средства иметь парк массовых ПЭВМ с более высокой суммарной производительностью и эффективностью. Так, вся вышеупомянутая техника полностью разработано многопрофильной командой проектировщиков в виде твердотельных моделей с использованием ПЭВМ бизнес класса.

В конечном итоге для крупного ведущего машиностроительного КБ, каким является РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике», представляется рациональным придерживаться следующих соображений:

1. Эффективное выполнение крупномасштабных проектов должно выполняться мобильными многофункциональными командами. Параллельная работа специалистов команды и синхронизация частей проекта должны обеспечиваться необходимыми программно-аппаратными средствами.

2. Достигнутая вычислительная мощность массовых ПЭВМ позволяет при создании сельскохозяйственных машин рационально применять:

Пакет 3-мерного проектирования класса Pro/Engineer с относительно невысокой стоимостью и возможностями разработки как дизайн-проекта, так и конструкции вплоть до разработки чертежей.

Автоматизированные инженерные расчеты типовых деталей машин;

КЭ статические и динамические расчеты, полностью покрывающие потребности НИР;

Методически простое моделирование и численное исследование с многопараметрической оптимизацией различных механизмов;

Автоматизацию управления и регистрации результатов стендовых испытаний и исследований;

Средства статистического анализа надежности элементов конструкции и машины в целом по результатам эксплуатации гарантийного парка;

Оптимизировать требования к надежности и качеству элементов конструкции по критерию народнохозяйственного экономического эффекта.

Ведение НИОКР с учетом изложенного позволяет без скачкообразного роста затрат на средства вычислительной техники и при высоком качестве проектных решений сократить продолжительность создания и доводки новой сельскохозяйственной техники в 2-2,5 раза, снизить затраты в эксплуатации и себестоимость сельскохозяйственной продукции. Этим достигается укрепление позиций предприятия на рынке.

УДК 631.3:001.24

А.Н. Вырский

Об основных проблемах, связанных с проведением расчетов методом конечных элементов по 3D-моделям, импортированным из САД-систем

*РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике»
Гомель, Беларусь*

Всесторонние расчетные исследования - очень важный элемент в процессе создания и доводки новых машин, их результатом является сокращение цикла разработки машины, снижение материальных затрат за счет исключения основных конструкторских ошибок и выбора оптимальных решений, повышение надежности разработанной машины.

Исследование статической и динамической прочности несущих конструкций машин – наиболее трудоемкий этап в комплексе проводимых в ГСКБ расчетов. Метод конечных элементов (МКЭ) является мощным численным методом решения самых разнообразных инженерных задач и играет существенную роль в повышении надежности несущих конструкций и узлов машин, созданных за последние 10 лет в «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике». Расчеты несущих конструкций с использованием МКЭ выполняются в основном в Интегрированной системе прочностного анализа (ИСПА), также используются пакеты MARC и ANSYS.

Создание сложных пространственных конечно-элементных моделей связано с большими затратами времени. Точность описания топологии модели в большой степени определяет точность расчетов, выполненных по этой модели, и в итоге - надежность спроектированной и изготовленной машины. Во всех современных системах конечно-элементного анализа, в том числе и в ИСПА, предусмотрена автоматическая генерация конечно-элементной сетки по твердотельной модели, импортированной из САД-системы (например, Pro/ENGINEER). То есть из создания модели исключается самая трудоемкая операция - описание ее геометрии.

Наиболее полно во всех КЭ-системах автоматизирован процесс создания КЭ сетки, состоящей из 4х-узловых объемных КЭ (тетраэдров). Этот процесс можно разбить на несколько этапов:

1. Расчетчик получает от конструктора твердотельную модель, разработанную в системе Pro/ENGINEER. Обычно эта модель представляет собой сборку из нескольких деталей: для рамных конструкций – это набор труб, уголков, швеллеров, листов и т.д; для корпусных деталей – набор геометрических примитивов.