

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
ФГОУ ВПО «Челябинский государственный агроинженерный университет»

**В.А. ЖИЛКИН**

# **ЭЛЕМЕНТЫ ПРИКЛАДНОЙ И СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ СЕЛЬХОЗМАШИН**

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММ MATHCAD, SCAD  
И MSC.PATRAN-NASTRAN 2005**

Учебное пособие

Для студентов специальности 190206  
Сельскохозяйственные машины и оборудование

**Челябинск 2007**

УДК 531.8: 631.3

*Жилкин В.А.* Элементы прикладной и строительной механики сельхозмашин. Применение программ MathCAD, SCAD и MSC.Patran-Nastran 2005. Учеб. пособие. - Челябинск: ЧГАУ, 2007. - 349.

Пособие соответствует государственному образовательному стандарту дисциплины «Теоретическая механика», «Сопротивление материалов» инженерной подготовки по специальности **190206 «Сельскохозяйственные машины и оборудование»** направления **190200** – «Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы». В нём описываются интерфейсы программных продуктов **SCAD** и **MSC.Patran-Nastran 2005**, изучение которых не предусмотрено учебными планами подготовки дипломированных специалистов по этой специальности, и излагаются методики создания стержневых, плоских и объёмных расчетных моделей тел и систем тел.

На примере программ **SCAD** и **MSC.Patran-Nastran 2005** реализуется идея использования уже на младших курсах на факультетах сельскохозяйственного машиностроения современных проектно-вычислительных комплексов, применяемых в инженерной практике для расчетов и проектирования строительных и машиностроительных конструкций. Приведены инструкции по использованию программ **SCAD** и **MSC.Patran-Nastran 2005** при решении задач строительной механики стержневых систем и плоских задач теории упругости.

Учебное пособие предназначено для студентов всех курсов специальности 190206 «Сельскохозяйственные машины и оборудование», аспирантов и инженерно-технических работников АПК.

### **Рецензенты**

Рахимов Р.С. – доктор техн. наук, проф. (ЧГАУ)  
Сапожников С.Б. - доктор техн. наук, проф. (ЮУрГУ)

Печатается по решению редакционно-издательского совета ЧГАУ

ISBN

© Челябинский государственный агроинженерный университет, 2007

## 1. ПРЕДИСЛОВИЕ

Сельскохозяйственной машине, как и всякому инженерному сооружению, при её постройке должна быть обеспечена способность противостоять внешним усилиям, которые могут на неё действовать в различных условиях её эксплуатации, без вреда для её целостности. Обеспечение прочности сельскохозяйственной машины в течение всего запланированного срока её службы является одной из основных задач проектировщика.

Наряду с этим сельскохозяйственной машине должна быть обеспечена необходимая жёсткость, т.е. способность противостоять действию внешних сил без недопустимых изменений формы элементов её корпуса.

Науку, имеющую своей целью дать конструктору рациональную базу для суждения о том, в какой мере будут обеспечены проектируемому сооружению необходимые прочность и жёсткость, принято называть строительной механикой. Те разделы строительной механики, в которых рассматриваются прочность и жесткость именно сельскохозяйственной машины как инженерного сооружения, составляют в своей совокупности строительную механику сельхозмашин, которая должна дать ответ на следующие три основных вопроса:

1) *какие усилия могут действовать на данную машину в нормальных условиях её эксплуатации* и при всех тех случайных нагрузках, которым сельхозмашина неизбежно подвергается в процессе её эксплуатации (**проблемой внешних сил**);

2) *какие напряжения и изменения формы вызываются в сельскохозяйственной машине заданными внешними силами* из числа тех, которые могут действовать на неё по условиям её эксплуатации (**проблемой внутренних сил**);

3) *какие напряжения и деформации сельскохозяйственной машины могут быть допущены без вреда для её прочности и жёсткости* (**проблема допускаемых напряжений и перемещений**).

Эти задачи строительной механики сельхозмашин в той или иной последовательности приходится рассматривать инженеру-проектировщику в своей практической деятельности.

Данное пособие рассчитано на студентов младших курсов, и поэтому естественно начать изучение курса строительной механики сельхозмашин с задач, которые наиболее хорошо разработаны, допускают наиболее строгие решения, больше всего по своей методике подходят к наукам, уже пройденным. Из трёх основных проблем строительной механики сельскохозяйственных машин такой является проблема внутренних сил. Рассмотрение её в основном и будет предметом нашего курса. В конце курса будет рассмотрена одна из задач земледельческой механики, относящаяся к первой проблеме и до сих пор не имеющая строгого аналитического решения – проблема взаимодействия орудий сельхозмашин с почвой.

С точки зрения строительной механики корпус сельскохозяйственных машин является весьма сложным сооружением. Почти ни одна его часть не несёт строго разграниченных функций, а участвует одновременно в выполнении ряда функций. Чтобы обеспечить корпусу сельхозмашины при неизбежных случайных аварийных ситуациях использование скрытых запасов прочности, приходится сознательно идти на использование конструкций, многократно статически неопределимых. Разобраться в полном объёме всех функций различных частей сельскохозяйственной машины при этих условиях довольно трудно.

Не имея возможности сразу охватить все условия работы конструкции сельхозмашин в целом, начнём изучение этих условий с изучения поведения отдельных схематизированных типичных простейших конструкций, которые можно мысленно выделить из состава корпуса сельскохозяйственной машины. Овладев основными методами

расчёта таких схематизированных конструкций, сначала статическими, а потом динамическими, следует научиться выделять для проверочных расчётов из состава заданной реальной сельскохозяйственной машины те типовые схематизированные простейшие детали, расчет которых уже известен; научиться определять внешние силы, которые на каждую из этих деталей могут действовать, и научиться, наконец, решать вопрос о том, допустимы или нет получающиеся в данной детали суммарные напряжения, возникающие в результате выполнения машиной всех её функций. Имея навык таких проверочных расчётов прочности сельхозмашин заданной конструкции, естественно будет поставить перед собою вопрос: каким должен быть алгоритм проектирования конструкции сельскохозяйственных машин, чтобы они, обладая надлежащей жёсткостью и прочностью, были достаточно лёгкими и простыми в исполнении. Но эта конечная цель не может быть рассмотрена в рамках данного учебного пособия, так как на первых курсах студенты не имеют достаточных знаний оптимального проектирования конструкций. Попутно с решением иных проблем мы должны накапливать материал и для разрешения этой конечной задачи.

Что касается методов решения отдельных задач, которые будут рассматриваться, то решить все задачи строительной механики сельхозмашин с той строгостью, которая характерна для математической теории упругости или математической теории пластичности, к сожалению, невозможно. Поэтому в строительной механике сельхозмашин (как и в теории сопротивления материалов) при выводе тех или иных зависимостей используют гипотезы, например, гипотезу плоских сечений в теории изгиба стержней и аналогичную ей гипотезу прямых нормалей в теории изгиба пластин.

В теории упругости можно уклониться от дачи какого бы то ни было ответа на вопросы, которые мы не умеем решить точно. Математик может сказать: я этого вопроса решить не могу, используйте решения, которые я знаю. Инженер так рассуждать не может. На всякий практический вопрос он должен дать ответ если не абсолютно точный, то хотя бы в максимальной мере гарантирующий от неверных решений. Строительная механика - не математическая, а инженерная дисциплина. Отсюда отличие её методов от методов теории упругости.

Отдельные выводы теории упругости используются в строительной механике:

- для формулировки тех условий, при соблюдении которых можно относиться с доверием к расчётным результатам, базирующимся на упомянутых выше гипотезах;
- для оценки точности таких расчётов;
- для освещения отдельных сторон той сложной картины явлений, изучение которой является нашей целью при проектировании корпуса сельхозмашины;
- для приближённого решения частных задач.

В целом строительная механика базируется на выводах теории упругости, но ставит своей задачей получить для каждого частного вопроса решение, не обязательно возможно более точное, а лишь достаточно точное для практических целей. Если имеется строгое решение, мы предпочтём его решению приближённому. Но вообще на всякий вопрос, возникший в процессе изучения строительной механики сельскохозяйственных машин, мы должны дать хотя бы не вполне точный ответ, поскольку решение этого вопроса необходимо для принятия определённого практического решения. Неточность ответов придётся покрывать вводимым в расчёт коэффициентом безопасности, являющимся по существу коэффициентом нашего незнания или нашей неуверенности в правильности того или иного вывода или положения. В этом отношении задачи и методы строительной механики сельхозмашин приближаются к задачам и методам теории сопротивления материалов.

От теории сопротивления материалов строительная механика отличается не столько методом решения своих задач, сколько степенью сложности последних. В сопротивлении материалов изучаются простейшие деформации тел простейшей формы.

В строительной механике при помощи тех же в сущности методов изучается работа отдельных типичных частей сооружения и всей их совокупности в целом применительно к определенному классу инженерных сооружений.

В пособии мы часто будем использовать материал книги<sup>1</sup> и поэтому перемещения, деформации и напряжения будем обозначать теми же самыми символами.

В настоящее время при проектировании машин и механизмов в конструкторских бюро значительная часть кинематических и прочностных расчетов выполняется на ЭВМ. Подготовка инженеров-конструкторов сельскохозяйственной техники должна учитывать это обстоятельство и включать в себя обучение методам компьютерного проектирования сельскохозяйственных машин и оборудования с использованием тех систем автоматизированного проектирования (**САПР**), которые доступны для внедрения в учебный процесс.

Принято считать, что система автоматизированного проектирования машиностроительной продукции состоит из ряда систем:

- **CAD**-систем (*Computers-Aided Design*), предназначенных для проектирования конструкций;
- **CAE**-систем (*Computer-Aided Engineering*), предназначенных для инженерных расчетов;
- **CAM**-систем (*Computers-Aided Manufacturing*), предназначенных для проектирования и моделирования технологических процессов обработки материалов;
- **PDM**-систем (*Product Data Management*), предназначенных для управления процессом разработки проектов.

Потребность конструкторских бюро, научно-исследовательских организаций и промышленности в универсальных, быстрых, надежных и удобных для пользователя программах, реализующих широкий спектр расчетов (статических, динамических, тепловых и др.), послужила импульсом к разработке различными фирмами пакетов прикладных программ конечно-элементного анализа.

Метод конечных элементов (**МКЭ**) является в настоящее время фактически мировым стандартом для прочностных и других видов расчетов конструкции. Основой этого служит универсальность **МКЭ**, позволяющая единым способом рассчитывать конструкции с разными свойствами материалов. Многовариантность способов моделирования конструкции **МКЭ** влечет за собой большую вероятность появления скрытых ошибок, то есть ситуаций, когда результат анализа либо недостижим, либо абсурден, либо, что самое опасное и распространенное, правдоподобен, но неверен. Поэтому применение **CAE**-систем, в отличие от **CAD/CAM**-систем, требует от расчетчика профессиональной подготовки в области механики твердого деформируемого тела. Чтобы с большой вероятностью получить достоверный результат, от пользователя пакета конечно-элементного анализа требуется знание принципов и методов реализации этого метода, глубокое понимание механики поведения конструкций в используемой области анализа и, наконец, владение методами выявления формальных и фактических ошибок.

Изучение теоретических основ **МКЭ** предполагает знание хотя бы элементарных сведений из учебных курсов «Теория упругости» и «Строительная механика машин». Учебный план подготовки дипломированных специалистов по направлению **190200** – «Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы», специальность **190206** «Сельскохозяйственные машины и оборудование» не предусматривает изучение основополагающих курсов прочностного расчета элементов машин и механизмов, таких, как «Теория упругости», «Теория пластичности», «Механика машин», «Теория колебаний» и т.п. дисциплины. Поэтому молодому специалисту приходится самостоя-

<sup>1</sup> Жилкин В.А. Расчеты на прочность и жесткость элементов сельскохозяйственных машин. Часть I. Теоретические основы проектирования элементов сельхозмашин. Учебное пособие. Челябинский агроинженерный университет. – Челябинск, 2005. -427 с.

тельно постигать основы перечисленных дисциплин и осваивать внедренную на предприятии **САПР**.

Учитывая объективную реальность, кафедра «Сопротивление материалов» ЧГАУ предлагает осваивать конечно-элементные программы постепенно, начиная с первого курса, в таких дисциплинах, как «Информатика» и «Теоретическая механика», и заканчивая на пятом курсе в дисциплине «Теоретические основы проектирования сельхозмашин и САПР». На первом курсе студенты знакомятся с интерфейсом программных комплексов и выполняют элементарные расчеты по определению реакций связи и анализу напряженно-деформированного состояния плоских элементов конструкций. На втором курсе, параллельно с изучением курса «Сопротивление материалов», они могут в рамках факультативных курсов решать плоские и пространственные задачи теории упругости с помощью конечно-элементных программных комплексов.

В настоящее время кафедра имеет программные продукты **APM WinMachine**, **SCAD** (*Structure construction automatic design*), **MSC.Patran-Nastran 2005**, **MSC.Marc 2005**, **MSC.Adams 2005**. Так как на первом курсе изучается только раздел «Статика» курса «Теоретическая механика», то в учебном процессе, при выполнении домашних заданий применяются только программные комплексы **SCAD** и **MSC.Patran-Nastran 2005**.

Во втором семестре по разделу «Статика» студенты выполняют следующие расчетные работы по сборнику заданий для курсовых работ по теоретической механике:

- определение реакций опор и сил в стержнях плоской фермы;
- определение реакций опор твердого тела (плоская система сил);
- определение реакций опор составной конструкции (система двух тел);
- приведение системы сил к простейшему виду;
- определение реакций опор твердого тела (пространственная система сил);
- центр тяжести.

Для лучшего понимания методики расчетов все задания сначала выполняются вручную с составлением уравнений равновесия, с построением силовых многоугольников и расчетных схем для рассматриваемых элементов конструкции, и только затем для проверки правильности решения задачи студенты используют программы SCAD и MSC.Patran-Nastran 2005. Решение уравнений равновесия выполняется в системе MathCAD, рисунки выполняются в графическом редакторе «CorelDraw», текст набирается в текстовом редакторе «Word». При этом достигаются две положительные цели. Во-первых, студент получает возможность самому проверить результаты своих ручных расчетов, что повышает его самостоятельность. Во-вторых, он постепенно (на примере решения простых задач) осваивает программные комплексы, которые в дальнейшем будут необходимы ему для решения более сложных задач.

Расчеты на ЭВМ выполняются в учебном компьютерном классе как в учебное время в виде лабораторных работ, так и в специально выделенное время для самостоятельной работы. Для облегчения задачи внедрения **САПР** в учебный процесс в пособии приводятся некоторые первоначальные сведения о **МКЭ** и процедуре расчета по программам **SCAD** и **MSC.Patran-Nastran 2005** на уровне начинающего пользователя.

Затруднением в использовании конечно-элементных программ на первом курсе является то, что студент еще не знает не только **МКЭ**, но и курса сопротивления материалов, на основе которых построены эти программы. Однако задерживать внедрение **САПР** в учебный процесс, с точки зрения автора, нежелательно. Поэтому вначале студентов знакомят с этими программными комплексами как с некоторыми новыми для них «**калькуляторами**», позволяющими вычислять те или иные силовые или геометрические характеристики конструкции.