

1. Материалы контрольных испытаний дреноукладчика МД-12 и экскаватора ЭТЦ-202Б на территории совхоза «Добринский» Гурьевского района Калининградской области. – Калининград: Запгипроводхоз, 1988. – Т. 2. Продольные профили дрен.

2. **Луговский В. В.** Динамика моря. – Л.: Изд-во «Судостроение», 1976. – 199 с.

3. **Бендат Дж., Пирсол А.** Применение корреляционного и спектрального анализа. – М.: Мир, 1983. – 312 с.

Материал поступил в редакцию 13.12.10.

**Ревин Юрий Григорьевич**, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Мелиоративные и строительные машины»

Тел. 8 (499) 976-21-15, 8-916-190-20-19

E-mail: jrevin@km.ru

УДК 631.3.004.67-631.145

## Н. Б. ОРЛОВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

## Е. А. ПУЧИН

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина»

# ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ МАШИН

*С помощью программы можно рассчитать произвольную трехмерную конструкцию, состоящую из стержней произвольного поперечного сечения, пластин и оболочек при произвольном нагружении и закреплении. При этом соединение элементов в узлах может быть как жестким, так и шарнирным.*

*Метод конечных элементов, расчет трехмерной конструкции, напряженно-деформированное состояние, конечно-элементная модель.*

*It is possible by means of the software to estimate an arbitrary three – dimensional structure consisting of arbitrary transverse section rods, plates and shells under arbitrary loading and fixing. Here the connection of details in units can be both rigid and hinging.*

*Finite-element method, estimation of a three-dimensional structure, mode of deformation, finite-element model.*

В настоящее время существует ряд пакетов прикладных программ, в которых сопряжены метод конечных элементов и некоторые методы САПР [1]. Общими их разделами являются документы ввода, библиотеки конечных элементов и документы вывода. Один из самых значимых документов — это ввод модели, так как создание модели не программируется. Изыскание оптимальной модели является предметом научного поиска (рис. 1).

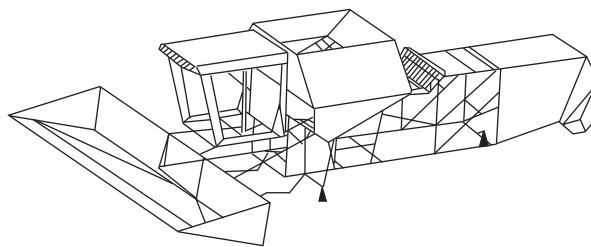


Рис. 1. Конечно-элементная модель несущей конструкции зерноуборочного комбайна

Вычислительные комплексы, содержащие пакет прикладных программ расчета динамики и прочности механических систем, обеспечивают расчет напряжений и деформаций в пространственных конструкциях и деталях, представляемых в виде систем, состоящих из стержней, пластин, объемных элементов, элементов, рассматриваемых как твердое тело, гибких нитей и различных связей при статическом и динамическом характере приложения внешних нагрузок [2].

Вычислительные комплексы обеспечивают решение следующих задач:

- расчет деформационных перемещений в конструкциях;

- расчет усилий и напряжений в стержнях, пластинах, оболочках и объемных элементах (при этом обеспечивается расчет как компонентов, так и эквивалентных напряжений), коэффициентов запаса по напряжениям;

- просмотр и вывод на печать отредактированных исходных данных и результатов счета;

- графическое изображение расчетных схем конструкции;

- автоматизированное определение геометрических характеристик сечений;

- визуальный контроль данных и диагностика ошибок формирования набора данных;

- создание архива решаемых задач и проведение операций с архивными файлами.

Работа организована в режиме диалога «пользователь — ПЭВМ».

Комплексы представляют собой совокупность автономных программ, объединенных единой внутренней формой данных, предназначенной для обмена информацией между программами.

Обмен данными осуществляется через внешние запоминающие устройства (накопители на магнитных дисках) с использованием специальной внутренней формы данных.

Автономный программный модуль WinStructure 3D представляет собой универсальную систему для расчета рамных, пластинчатых, оболочечных, а также смешанных конструкций конечных элементов. С помощью программы можно рассчитать произвольную трехмерную конструкцию, состоящую из стержней

произвольного поперечного сечения, пластин и оболочек при произвольном нагружении и закреплении. При этом соединение элементов в узлах может быть как жестким, так и шарнирным.

В результате выполненных системой АПМ WinStructure 3D расчетов можно получить следующую информацию:

- о нагрузках на концах элементов конструкции;

- карту напряжений по длине стержней и по поверхности пластин и оболочек конструкции;

- о перемещении произвольной точки; карту распределения напряжений в произвольном сечении стержня;

- для отдельного стержня конструкции — эпюры изгибающих и крутящих моментов, поперечных и осевых сил и т.д.

*Расчет с помощью конечных элементов в форме метода перемещений включает в себя следующие этапы:*

- разбиение конструкций на конечные элементы и подготовку топологической, геометрической и физической информации; установление факторов взаимодействия с окружающей средой;

- построение для выделенных конечных элементов соответствующих матриц (жесткости, масс, теплопроводности и др.) и векторов, определяющих зависимости между реакциями, перемещениями в узлах элемента;

- формирование разрешающей системы линейных алгебраических или дифференциально-алгебраических уравнений;

- решение полученной системы уравнений и установление полей перемещений, внутренних силовых факторов, температуры и т.д.;

- обработку результирующей информации и ее анализ.

Перечисленные этапы поддаются четкой универсальной алгоритмизации, и их программная реализация не вызывает принципиальных затруднений при наличии библиотеки стандартных подпрограмм.

*Основные этапы расчета напряженно-деформированного состояния конструкции:*

реальная конструкция представляется в виде идеализированной системы, состоящей из конечных элементов. Вид конечного элемента (прямоугольный стержень, тонкая пластина, шестигранный

объемный элемент и т.д.) выбирается из библиотеки конечных элементов, применяемых для данных расчетов программного комплекса (рис. 2);

для описания всей системы принимается глобальная система координат. Местоположение каждого узла конечно-элементной модели (КЭМ) фиксируется тремя координатами  $X, Y, Z$ ;

определяются типы опор (кинематические граничные условия). Необходимо задать кинематические граничные условия (заранее известные перемещения) таким образом, чтобы исключить возможность перемещения конечно-элементной модели рассматриваемой конструкции как твердого тела во всех направлениях;

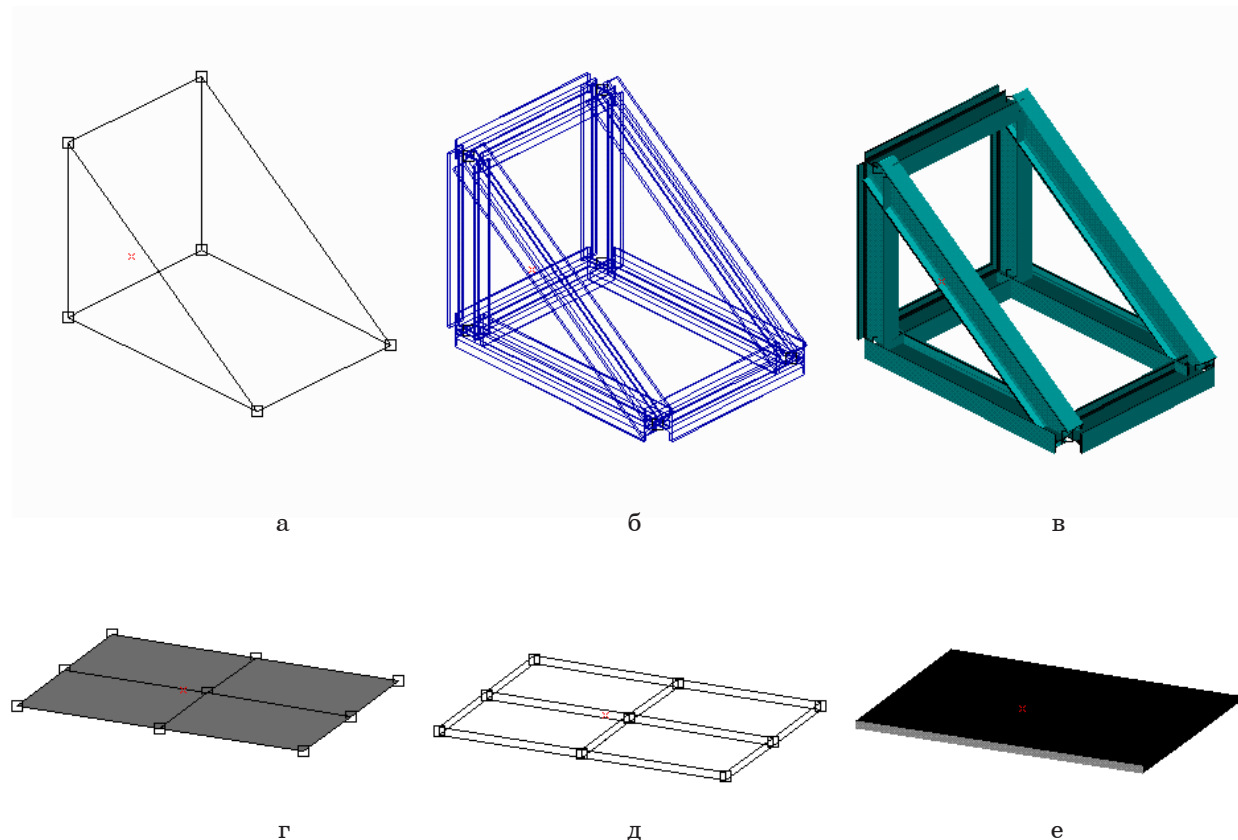


Рис. 2. Конечные элементы программного модуля WinStructure 3D: а – проволочная модель стержня; б – каркасная модель стержня; в – объемная модель стержня; г – плоская модель пластины; д – каркасная модель пластины; е – объемная модель пластины

задаются внешние нагрузки, действующие на КЭМ, приложением сосредоточенных сил и моментов (по плоскостям) в узлах;

нумерация узлов начинается с единицы;

порядок нумерации определяется только удобствами пользователя;

задаются механические свойства материала (модуль упругости, модель сдвига конструкции, коэффициент Пуассона, плотность);

геометрические характеристики самих

конечных элементов задаются в локальной (местной) системе координат  $U, V, W$ , начало которой для каждого конечного элемента расположено в одном из его узлов;

связь конечной или бесконечной жесткости определяет соединение двух соседних узлов;

результатом расчета является напряженное и деформированное состояние конструкции (рис. 3), представленное в графическом виде или в виде таблиц.

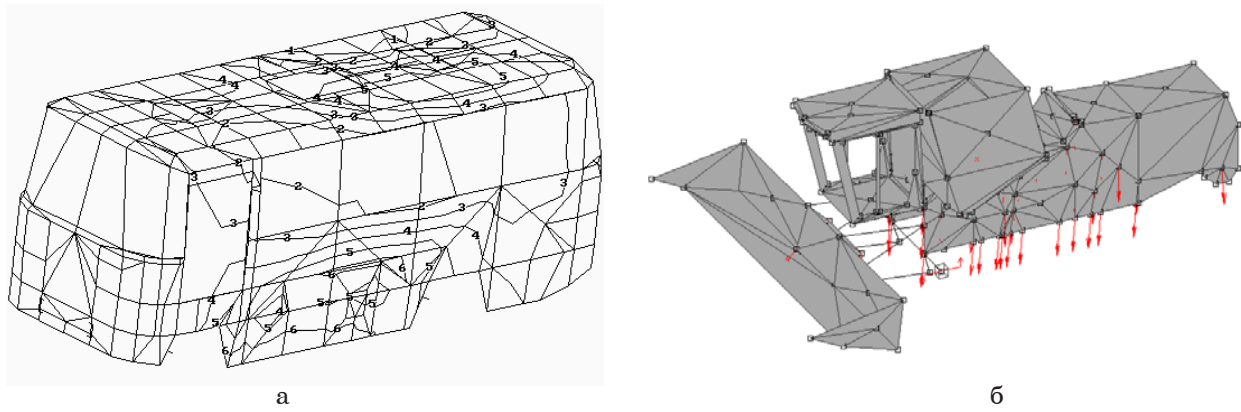


Рис. 3. Картина состояния конструкций: а – напряженное состояние (цифрами обозначены линии напряжения); б – деформированное состояние

### Выводы

Автономный программный модуль WinStructure 3D представляет собой комплекс автономных прогам, который представляет собой единую систему данных, предназначенную для обмена информацией между конструкторскими программами.

С помощью данного модуля можно просчитать любую предлагаемую произвольную трехмерную конструкцию, которая будет эксплуатироваться в сложных условиях сельского хозяйства и мелиоративного строительства.

1. Российская энциклопедия самоходной техники / Под ред. В. А. Зорина. – М.: Изд-во РБОО «Просвещение», 2001. – Т. 2. – 360 с.

2. Монтаж, техническое обслуживание и ремонт оборудования перерабатывающих отраслей АПК: справочник. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – Ч. 2. – 372 с.

Материал поступил в редакцию 02.07.10.

**Орлов Намса Борисович**, аспирант

Тел. 8 (903) 296-41-64

**Пучин Евгений Александрович**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Надежность и ремонт машин»

Тел. 8 (916) 166-38-28