

УДК 631.316.6 +631.319.2

## РАСЧЕТ РАМ КОМБИНИРОВАННЫХ МАШИН НА ЭВМ

<sup>1</sup>Анатов Р.М., <sup>2</sup>Котельников В.Я., <sup>3</sup>Козявин А.А., <sup>2</sup>Котельников А.В., <sup>1</sup>Тищенко Д.Е.

<sup>1</sup>Грязинский культиваторный завод, Грязи;

<sup>2</sup>Юго-Западный госуниверситет, Курск, e-mail: rotor9090@mail.ru;

<sup>3</sup>ККГСХА, Курск

Дан методический синтез рамы и рабочих органов культиватора. Расчет рамы выполнен с помощью проектно-вычислительного комплекса SCAD. В основу расчета положен метод конечных элементов, с использованием в качестве основных неизвестных перемещений и поворотов узлов расчетной схемы.

**Ключевые слова:** культиваторы, методика и синтез конструирования

## COMPUTER CALCULATION OF COMBINED MACHINES' CHASSIS

<sup>1</sup>Anutov R.M., <sup>2</sup>Kotelnikov V.Y., <sup>3</sup>Kozyavin A.A., <sup>2</sup>Kotelnikov A.V., <sup>1</sup>Tishchenko D.E.

<sup>1</sup>Gryazinsky cultivator plant, Gryazi;

<sup>2</sup>Southwestern State University, Kursk, e-mail: rotor9090@mail.ru;

<sup>3</sup>KKGSKHA, Kursk

The article is about chassis' synthesis and working tools of cultivator. The calculation was performed with a frame design and computing complex SCAD. The calculation based on the method of finite elements, using as the main unknown displacement and rotation components design scheme.

**Keywords:** cultivators, method and synthesis of design

Расчет рамы нами выполнен с помощью проектно-вычислительного комплекса SCAD. Комплекс реализует конечно-элементное моделирование статических и динамических расчетных схем, проверку устойчивости, выбор невыгодных сочетаний усилий, подбор арматуры железобетонных конструкций, проверку несущей способности стальных конструкций. В представленной ниже пояснительной записке описаны лишь фактически использованные при расчетах названного объекта возможности комплекса SCAD.

В основу расчета положен метод конечных элементов, с использованием в качестве основных неизвестных перемещений и поворотов узлов расчетной схемы. В связи с этим, идеализация конструкции выполнена в форме, приспособленной к использованию этого метода, а именно: система представлена в виде набора тел стандартного типа (стержней, пластин, оболочек и т.д.), называемых конечными элементами и присоединенных к узлам.

Тип конечного элемента определяется его геометрической формой, правилами, определяющими зависимость между перемещениями узлов конечного элемента и узлов системы, физическим законом, определяющим зависимость между внутренними усилиями и внутренними перемещениями, и набором параметров (жесткостей), входящих в описание этого закона и др.

Узел в расчетной схеме метода перемещений представляется в виде абсолютно жесткого тела, бесконечно малых размеров. Положение узла в пространстве при дефор-

мациях системы определяется координатами центра и углами поворота трех осей, жестко связанных с узлом. Узел представлен как объект, обладающий шестью степенями свободы – тремя линейными смещениями и тремя углами поворота.

Все узлы и элементы расчетной схемы нумеруются. Номера, присвоенные им, следует трактовать только как имена, которые позволяют делать необходимые ссылки.

Основная система метода перемещений выбирается путем наложения в каждом узле всех связей, запрещающих любые узловые перемещения. Условия равенства нулю усилий в этих связях представляют собой разрешающие уравнения равновесия, а смещения указанных связей – основные неизвестные метода перемещений.

В общем случае в пространственных конструкциях в узле могут присутствовать все шесть перемещений:

- 1 – линейное перемещение вдоль оси  $X$ ;
- 2 – линейное перемещение вдоль оси  $Y$ ;
- 3 – линейное перемещение вдоль оси  $Z$ ;
- 4 – угол поворота с вектором вдоль оси  $X$  (поворот вокруг оси  $X$ );
- 5 – угол поворота с вектором вдоль оси  $Y$  (поворот вокруг оси  $Y$ );
- 6 – угол поворота с вектором вдоль оси  $Z$  (поворот вокруг оси  $Z$ ).

Нумерация перемещений в узле (степеней свободы), представленная выше, используется далее всюду без специальных оговорок, а также используются соответственно обозначения  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $UX$ ,  $UY$  и  $UZ$  для обозначения величин соответствующих линейных перемещений и углов поворота.

В соответствии с идеологией метода конечных элементов, истинная форма поля перемещений внутри элемента (за исключением элементов стержневого типа) приближенно представлена различными упрощенными зависимостями. При этом погрешность в определении напряжений и деформаций имеет порядок  $(h/L)^k$ , где  $h$  – максимальный шаг сетки;  $L$  – характерный размер области. Скорость уменьшения ошибки приближенного результата (скорость сходимости) определяется показателем степени  $k$ , который имеет разное значение для перемещений и различных компонент внутренних усилий (напряжений).

### Расчетная схема

Системы координат. Для задания данных о расчетной схеме могут быть использованы различные системы координат, которые в дальнейшем преобразуются в декартовы. В дальнейшем для описания расчетной схемы используются следующие декартовы системы координат:

- глобальная правосторонняя система координат  $XYZ$ , связанная с расчетной схемой;
- локальные правосторонние системы координат, связанные с каждым конечным элементом.

Тип схемы. Расчетная схема определена как система с признаком 5. Это означает, что рассматривается система общего вида, деформации которой и ее основные неизвестные представлены линейными перемещениями узловых точек вдоль осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и поворотами вокруг этих осей.

### Количественные характеристики расчетной схемы

Расчетная схема характеризуется следующими параметрами:

- Количество узлов – 76.
- Количество конечных элементов – 86.
- Общее количество неизвестных перемещений и поворотов – 456.
- Количество загружений – 1.
- Количество комбинаций загружений – 14.

Выбранный режим кинето-статического расчета. Статический расчет системы выполнен в линейной постановке.

Набор исходных данных. Детальное описание расчетной схемы содержится в документе «Исходные данные», где в табличной форме представлены сведения о расчетной схеме, содержащие координаты всех узлов, характеристики всех конечных элементов, условия примыкания конечных элементов к узлам и др.

Граничные условия. Возможные перемещения узлов конечно-элементной расчет-

ной схемы ограничены внешними связями, запрещающими некоторые из этих перемещений. Наличие таких связей помечено в таблице «Координаты и связи» описания исходных данных символом #.

Условия примыкания элементов к узлам. Точки примыкания конечного элемента к узлам (концевые сечения элементов) имеют одинаковые перемещения с указанными узлами.

Исключение составляют стержневые элементы, для которых предусмотрено наличие шарниров и/или ползунов, разрешающих угловые и/или линейные перемещения узлов и концевых сечений элементов относительно узлов расчетной схемы. Описание шарниров и ползунов приведено в таблице «Условия примыкания».

Характеристики использованных типов конечных элементов

В расчетную схему включены конечные элементы следующих типов. Стержневые конечные элементы, для которых предусмотрена работа по обычным правилам сопротивления материалов. Описание их напряженного состояния связано с местной системой координат, у которой ось  $X1$  ориентирована вдоль стержня, а оси  $Y1$  и  $Z1$  – вдоль главных осей инерции поперечного сечения.

Некоторые стержни присоединены к узлам через абсолютно жесткие вставки, с помощью которых учитываются эксцентриситеты узловых примыканий. Тогда ось  $X1$  ориентирована вдоль упругой части стержня, а оси  $Y1$  и  $Z1$  – вдоль главных осей инерции поперечного сечения упругой части стержня.

К стержневым конечным элементам рассматриваемой расчетной схемы относятся следующие типы элементов: элемент типа 5, который работает по пространственной схеме и воспринимает продольную силу  $N$ , изгибающие моменты  $M_y$  и  $M_z$ , поперечные силы  $Q_z$  и  $Q_y$ , а также крутящий момент  $M_k$ .

### Результаты расчета

В настоящем отчете результаты расчета представлены выборочно. Вся полученная в результате расчета информация хранится в электронном виде.

Перемещения. Вычисленные значения линейных перемещений и поворотов узлов от загружений представлены в таблице результатов расчета «Перемещения узлов».

Правило знаков для перемещений принято таким, что линейные перемещения положительны, если они направлены в сторону возрастания соответствующей координаты, а углы поворота положительны, если

они соответствуют правилу правого винта (при взгляде от конца соответствующей оси к ее началу движение происходит против часовой стрелки).

**Усилия и напряжения.** Вычисленные значения усилий и напряжений в элементах от нагружений представлены в таблице результатов расчета «Усилия/напряжения элементов».

Для стержневых элементов усилия по умолчанию выводятся в концевых сечениях упругой части (начальном и конечном) и в центре упругой части, а при наличии запроса пользователя и в промежуточных сечениях по длине упругой части стержня. Для пластинчатых, объемных, осесимметричных и оболочечных элементов напряжения выводятся в центре тяжести элемента и при наличии запроса пользователя в узлах элемента.

Правило знаков для усилий (напряжений). Правила знаков для усилий (напряжений) приняты следующими:

1) для стержневых элементов возможно наличие следующих усилий:

- $N$  – продольная сила;
- $M_{KP}$  – крутящий момент;

$M_Y$  – изгибающий момент с вектором вдоль оси  $Y1$ ;

$Q_Z$  – перерезывающая сила в направлении оси  $Z1$ , соответствующая моменту  $M_Y$ ;

$M_Z$  – изгибающий момент относительно оси  $Z1$ ;

$Q_Y$  – перерезывающая сила в направлении оси  $Y1$ , соответствующая моменту  $M_Z$ ;

$R_Z$  – отпор упругого основания;

2) положительные направления усилий в стержнях приняты следующими:

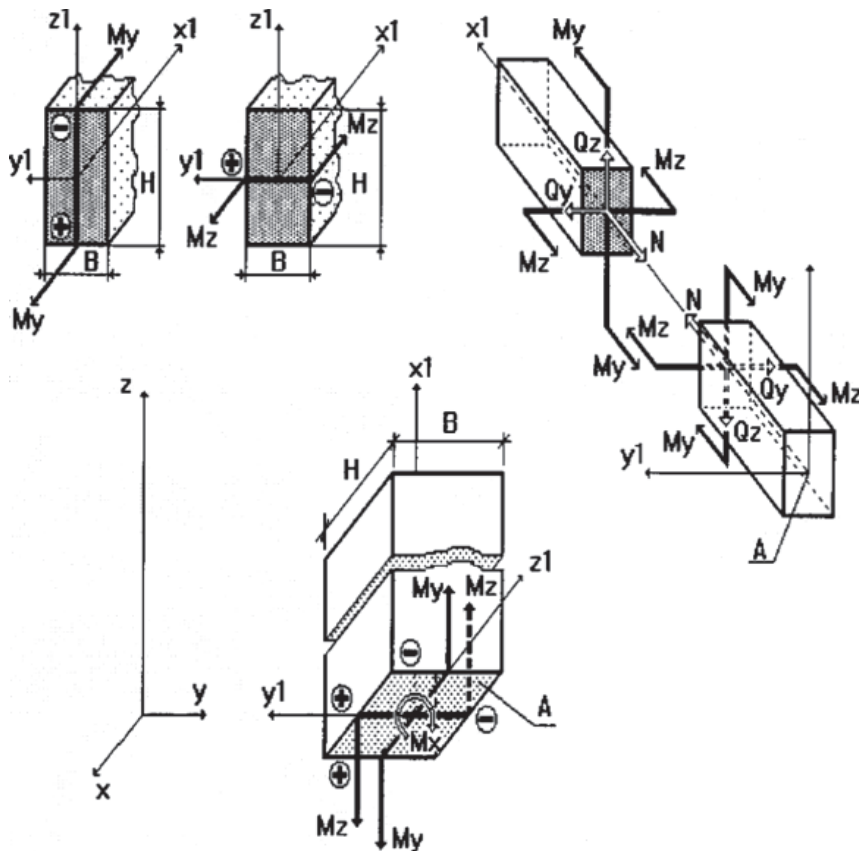
– для перерезывающих сил  $Q_Z$  и  $Q_Y$  – по направлениям соответствующих осей  $Z1$  и  $Y1$ ;

– для моментов  $M_X$ ,  $M_Y$ ,  $M_Z$  – против часовой стрелки, если смотреть с конца соответствующей оси  $X1$ ,  $Y1$ ,  $Z1$ ;

– положительная продольная сила  $N$  всегда растягивает стержень.

На рисунке показаны положительные направления внутренних усилий и моментов в сечении горизонтальных и наклонных (а), а также вертикальных (б) стержней.

Знаком «+» помечены растянутые, а знаком «-» – сжатые волокна поперечного сечения от воздействия положительных моментов  $M_y$  и  $M_z$ .



Суммарные значения приложенных нагрузок по нагружениям.

В протоколе решения задачи и эпорах для каждого из нагружений даны значения суммарной узловой нагрузки, действующей на систему.