

На рис.2 заметно некоторое различие в формировании поверхности, от которой зависит степень сопротивления изнашиванию. Наименьший износ наблюдался на обкатанной поверхности при использовании препарата MOTOR-LIFE, повышение износа наблюдалось при использовании препарата R-2000 и силиконового масла TITAN CFE 1040 MC. Наибольший износ был отмечен на поверхности, смазываемой маслом SN 150.

Отмеченное изменение силы трения можно объяснить влиянием смазывающего средства в процессе обкатки. Смазка, благодаря присутствию присадок, в результате сорбции физической или химической модифицирует поверхностный слой. Следует заметить, что смазывающее средство, используемое в процессе обкатки, выделяется из поверхностного слоя чугуна в процессе трения, что дополнительно активизирует смазывающие свойства и способствует улучшению свойств антифрикционных.

Таким образом, проведенные исследования указывают на целесообразность применения присадок и других эксплуатационных препаратов в процессе обкатки чугуна. Посредством модификации поверхностного слоя улучшаются трибологические характеристики узла трения – уменьшается коэффициент трения, а также увеличивается износостойкость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gierzyńska M. Konstytuowanie warstwy wierzchniej systemu tribologicznego. Materiały VIII Sympozjum Tribologicznego. Poznań, 1977. 2. Laber St. Analiza współzależności pomiędzy stanem warstwy wierzchniej a właściwościami użytkowymi żeliwnych elementów maszyn obrabianych nagniataniem. Zielona Góra: WSIInż, 1985. 3. Przybylski W. Obróbka nagniataniem – technologia i oprzyrządowanie. Warszawa: WNT, 1979.

УДК 531.1:621.01]:681.3 (075.8)

Носов В.М.

ВОЗМОЖНОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МАШИН И ТИПОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Бурное развитие вычислительной математики и ее программной реализации на персональных компьютерах (ПК) привели к созданию принципиально

новых систем компьютерной математики (СКМ) и аналитических вычислений (САВ).

До настоящего времени компьютеры помогали в решении математических задач лишь привилегированной научной и инженерной элите, занятой сложными и трудоемкими расчетами. Для их проведения пользователю не только нужно было освоить работу на самом компьютере, что остается необходимой задачей и в настоящее время. Он должен был математически и алгоритмически правильно поставить задачу, изучить использование довольно сложных численных методов, освоить хотя бы один язык программирования, составить программы расчетов, провести весьма трудоемкую и ответственную их отладку и тестирование.

Первым откровением стали системы REDUCE и DERIVE. Они резко уменьшили затраты времени на их освоение и программирование, а также взяли на себя груз алгебраических преобразований огромной сложности. В отличие от языков программирования высокого уровня, таких как Фортран, Си или Паскаль, системы REDUCE и DERIVE, рассматриваемые в настоящем пособии, могут решать большое количество математических задач путем введения команд, без всякого предварительного программирования.

С помощью СКМ на персональных компьютерах в настоящее время легко реализуется интегрирование и дифференцирование символьных выражений, перестановки и перегруппировки членов, приведение подобных членов, подстановки в выражения с последующим их преобразованием.

С их помощью решение задач на ПК может быть получено как в численном виде, так и аналитически, то есть в виде формул, состоящих из математических символов. Одновременно с этим СКМ могут выполнить генерацию программы и представить результаты аналитического решения в синтаксисе, например, Фортрана, использующего обычные численные методы.

Современные СКМ резко расширяют инженерные возможности любого человека при проектировании и исследовании оптимальных вариантов параметров конструкций и механизмов.

При их использовании у каждого человека создается впечатление, что его способности к точным наукам десятикратно возрастают.

Однако открывающиеся большие возможности таят в себе и соответствующие опасности, так как требуют нового мышления и опыта их использования.

Эти опасности возникают при использовании СКМ при проектировании инженерных конструкций и механизмов на этапе выбора оптимальных параметров.

При этом применение СКМ открывает большие возможности, связанные с исследованием влияния вариации силовых и геометрических характеристик на оптимальные параметры конструкций и машин.

СКМ поразительно легко справляются с подобной задачей. Это достига-

ется использованием в процессе символьных вычислений *свободных переменных и свободных имен со скобками*.

Основанием для этого служит тот факт, что в СКМ различают имя переменной и ее значение, даже если они совпадают.

Каждая переменная обозначается именем, которое является ее первоначальным значением.

Имя переменной — обозначение “емкости”, которую с помощью операторов присваивания наполняют содержимым (численным или символьным значением).

Свободной называется переменная, которой ничего не присвоено и значение которой совпадает с ее именем.

Связанной — которой ранее было присвоено некоторое значение.

Для свободных переменных алгебраические преобразования выполняются с их именами, которые и входят в окончательный ответ, определяя его зависимость от значения последних.

Всем использованным переменным ранее в программах перед вычислениями всегда предварительно задавались значения, то есть они являлись связанными.

Поэтому если при использовании СКМ из программы (или сеанса работы) удалить соответствующий оператор, задающий значение варьируемому параметру, то он станет свободной переменной. Можно для надежности очистить ее значение соответствующей командой или способом (различными в различных СКМ). В результате после выполнения работы программы (или сеанса работы) мы получим значения усилий в стержнях рассматриваемой пространственной конструкции в зависимости от значения варьируемого параметра.

Для перехода от обычного численного определения, например в САВ REDUCE, реакций связей к получению аналитических зависимостей влияния на них различных факторов (вариации нагрузки, геометрических параметров задачи и т.п.) нужно просто не задавать их значения, записав величины нагрузок и тригонометрические функции углов в символьном виде: силы P , F , $\cos\varphi$ или $\sin\varphi$. При этом греческие буквы в обозначениях углов заменяются их идентификаторами, записанными в латинской транскрипции.

Эта особенность REDUCE позволяет проводить исследование, достойное ранее курсовой работы, над любой задачей, причем его трудоемкость для студента при этом практически не возрастает. Легкость получения нужных функциональных зависимостей в аналитической форме, никак не определяемых ранее, просто поражает. Ведь для их определения ранее нужно было выполнить численное исследование с трудоемкой подготовкой варьируемых данных в численном виде для каждого рассматриваемого положения, а затем мучиться над обработкой большого массива численных результатов [1-2].

Однако большие возможности таят в себе и существенные опасности. Они проистекают из того факта, что с легкостью варьируя одни характеристи-

ки. Например силовые, можно не заметить связь их с другими параметрами, например, геометрическими.

Тогда при вариации какого-либо силового фактора произойдет несанкционированное изменение геометрических характеристик, могущее иметь катастрофические последствия (например, вырождение конструкции). Однако при этом также будет получен результат, который вам даже может не показаться подозрительным. Однако он не будет иметь никакого отношения к исследуемому процессу и будет ложным.

В качестве примера рассмотрим типовую конструкцию из сборника [3, с. 52-54], изображенную на рис. 1.

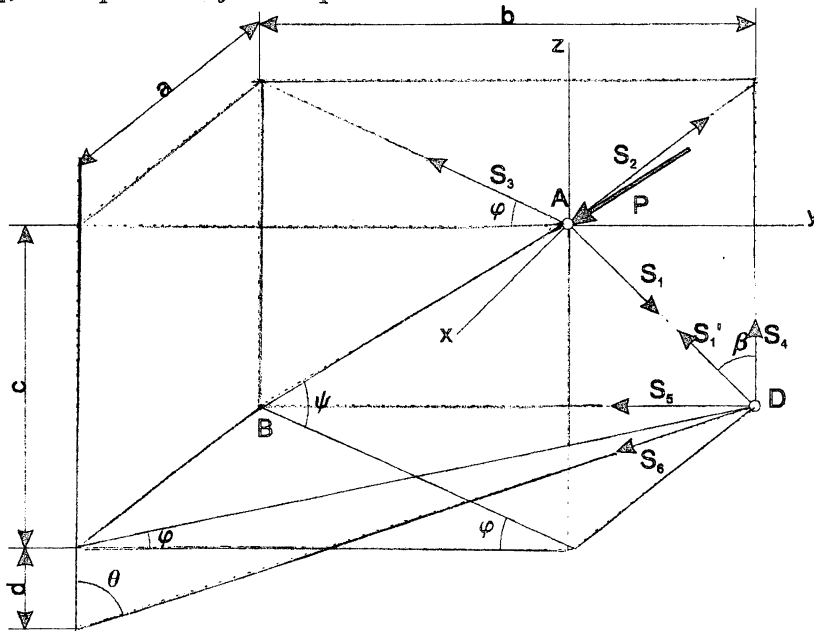


Рис. 1. Расчетная схема пространственной шарнирно-стержневой конструкции

Программа для ее исследования может иметь, например, следующий вид:

Программа 1

```

OUT "C8\PR2-2.LIS";           10
ON NERO;                       15
N:=6;                           20
SIN(FI):=4/SQRT(41); COS(FI):=5/SQRT(41); 22
SIN(PHI):=4/SQRT(57); COS(PHI):=SQRT(41)/SQRT(57); 24
SIN(BETA):=1/SQRT(2); COS(BETA):=1/SQRT(2); 26
SIN(TETA):=SQRT(41)/SQRT(42); COS(TETA):=1/SQRT(42); 28
P:=4;                           29
MATRIX A(N,N),B(N,1),X(N,1); 30
A:=MAT((-SIN(BETA),-1,-SIN(FI),0,0,0), 35
(0,0,-COS(FI),0,0,0),
(-COS(BETA),0,0,0,0,0),
(SIN(BETA),0,0,0,0,SIN(TETA)*SIN(FI)), (1)

```

```

(0,0,0,0,-1,-SIN(TETA)*COS(FI)),
(COS(BETA),0,0,1,0,-COS(TETA));
B:=MAT((P*COS(PSI)*SIN(FI)),(P*COS(PSI)*COS(FI)),
(P*SIN(PSI)),(0),(0),(0));
OFF NERO;
X:=A**(-1)*B;
SHUT "C8\PR2-2.LIS";
END;

```

Если из программы 1 удалить операторы 24 (очистив для надежности их значения командой CLEAR), то имена со скобками SIN(PSI) и COS(PSI), идентифицирующие тригонометрические функции, можно условно рассматривать в качестве свободных переменных. В результате работы такой измененной программы мы получим значения усилий в зависимости от вариации направления постоянной по модулю силы P в диагональной плоскости, выраженные соотношениями (2):

$$\begin{aligned}
 X(1,1) &:= -4 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\psi), & X(2,1) &:= 4 \cdot \sin(\psi), \\
 X(3,1) &:= -4 \cdot \cos(\psi) & X(4,1) &:= 5 \cdot \sin(\psi), \\
 X(5,1) &:= -5 \cdot \sin(\psi) & X(6,1) &:= \sqrt{42} \cdot \sin(\psi).
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Зависимости усилий (X, кН) в стержнях 1-6 пространственной конструкции (рис. 1) от изменения угла PSI (рад) при вращении постоянной по модулю силы P в диагональной плоскости изменяются по синусоидальному закону.

В программе 1 операторы 22 задают значения SIN(FI) и COS(FI), которые определяют направление действия силы P при ее вращении вокруг вертикальной оси с постоянным углом PSI.

Если восстановить в программе 1 операторы 24, а удалить операторы 22, то в результате ее работы, как нам может показаться, мы получим зависимости результатов решения от изменения направления постоянной по модулю силы P при ее вращении вокруг вертикальной оси с постоянным углом наклона к горизонтальной плоскости:

$$\begin{aligned}
 X(1,1) &:= -\frac{16 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{57}}, & X(2,1) &:= \frac{16}{\sqrt{57}}, \\
 X(3,1) &:= -\frac{4 \cdot \sqrt{41}}{\sqrt{57}}, \\
 X(4,1) &:= \frac{16 \cdot (\sqrt{41} \cdot \sin(\bar{f}_i) + 1)}{\sqrt{2337} \cdot \sin(\bar{f}_i)}, \\
 X(5,1) &:= -\frac{16 \cdot \cos(\bar{f}_i)}{\sqrt{57} \cdot \sin(\bar{f}_i)}, & X(6,1) &:= \frac{16 \cdot \sqrt{42}}{\sqrt{2337} \cdot \sin(\bar{f}_i)}.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Соответствующие графики зависимостей представлены на рис. 2.

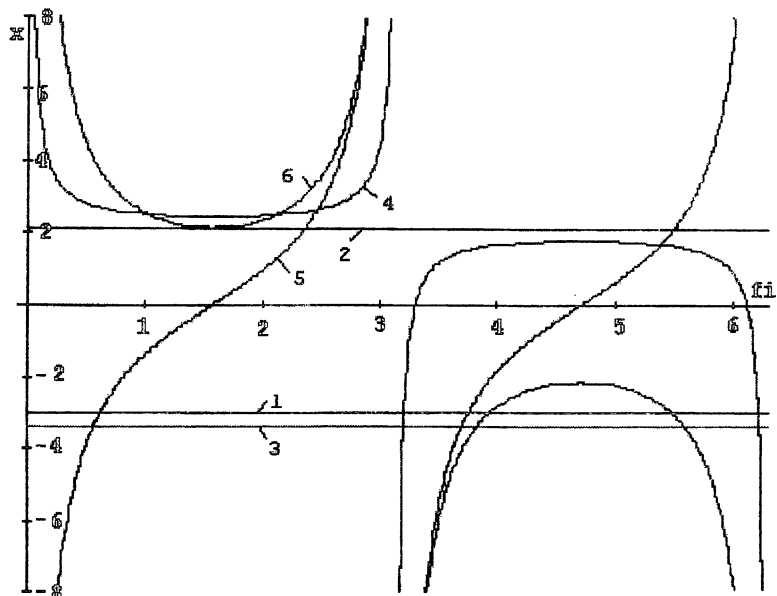


Рис. 2. Зависимости усилий (X , кН) в стержнях 1-6 пространственной фермы при формальной вариации угла FI (рад) для всей конструкции (рис. 1):
 1 – S_1 , 2 – S_2 , 3 – S_3 , 4 – S_4 , 5 – S_5 , 6 – S_6

Простота выполнения вариаций различных факторов открывает такие широкие возможности, которые могут просто погубить легкомысленного исследователя, о чем в аналогичной ситуации предупреждал еще Бармалея всем известный добрый доктор в фильме «Айболит-66». Применительно к нам это означает, что начав исследовать влияние вращения силы P путем вариации угла φ (идентификатором которого в уравнениях (3) является FI), мы не обратили внимание, что он также определяет положение третьего стержня конструкции (см. рис. 1), являясь углом между диагоналями верхней и нижней плоскости и горизонтальной прямой.

Поэтому при вращении силы P мы также *несогласованным образом* стали изменять размеры конструкции. При $\varphi = 0$ или $\varphi = \pi$ пространственная шарнирно-стержневая конструкция вырождается в плоскую, которая не может существовать при заданных размерах.

В результате геометрической несогласованности происходит потеря равновесия и устойчивости конструкции, что математически находит свое отражение в стремлении к бесконечности реакций трех последних стержней 4–6 в соотношениях (3), где в выражениях для $X(4,1) - X(6,1)$ при $\varphi = 0$ или $\varphi = \pi$ происходит деление на 0.

Это очень хорошо видно на графиках зависимости значений реакций стержней 1–6 от величины угла φ , построенных по соотношениям (3), представленных на рис. 2.

Чтобы этого не происходило, нужно угол между вертикальной плоскостью действия силы P и горизонтальной осью обозначить другой буквой, например α (с идентификатором ALFA).

Его значение для начального положения равно φ , но при вращении силы P вокруг вертикальной оси угол α изменяется соответствующим образом независимо от постоянного значения угла φ . В программе 1 оператор 55 с учетом этого примет следующий вид (где жирным шрифтом выделены измененные обозначения):

$$\mathbf{B}:=\mathbf{MAT}(\mathbf{P}*\mathbf{COS}(\mathbf{PSI})*\mathbf{SIN}(\mathbf{ALFA}),(\mathbf{P}*\mathbf{COS}(\mathbf{PSI})*\mathbf{COS}(\mathbf{ALFA})), \quad \mathbf{55}$$

$$(\mathbf{P}*\mathbf{SIN}(\mathbf{PSI})),(\mathbf{0}),(\mathbf{0}),(\mathbf{0})); \quad (4)$$

Значение угла $ALFA$ в программе 1 не задано, поэтому он является свободной переменной.

Теперь в результате работы такой измененной программы 1 с новым оператором 55 мы получим настоящие зависимости результатов решения (5) от вариации угла α при вращении силы P вокруг вертикальной оси с постоянным углом наклона к горизонтальной плоскости. Они весьма сильно отличаются от легкомысленно полученных соотношений (3), что видно из их сравнения:

$$X(1,1):= - \frac{16 * \mathit{sqrt}(2)}{\mathit{sqrt}(57)},$$

$$X(2,1):= \frac{4 * (4 * \mathit{sqrt}(41) * \cos(\mathit{alfa}) - 5 * \mathit{sqrt}(41) * \sin(\mathit{alfa}) + 20)}{5 * \mathit{sqrt}(57)},$$

$$X(3,1):= - \frac{164 * \cos(\mathit{alfa})}{5 * \mathit{sqrt}(57)}, \quad X(4,1):= \frac{20}{\mathit{sqrt}(57)}, \quad (5)$$

$$X(5,1):= - \frac{20}{\mathit{sqrt}(57)}, \quad X(6,1):= \frac{4 * \mathit{sqrt}(42)}{\mathit{sqrt}(57)}.$$

Графики зависимостей значений реакций стержней 1–6 пространственной конструкции (рис. 1) от изменения угла $ALFA$ (рад) при вращении силы P вокруг вертикальной оси, построенных по соотношениям (5) на рис. 3, также наглядно подтверждают это.

Оказывается, значение реакций при вращении силы P вокруг вертикальной оси с постоянным углом наклона к горизонтальной плоскости ψ :

- в стержнях 1, 4–6 является постоянным,
- в третьем — изменяется по косинусоидальному закону,
- для второго стержня — определяется разностью функций $\cos\alpha$ и $\sin\alpha$, а сама зависимость смещена по вертикальной оси от нулевого значения.

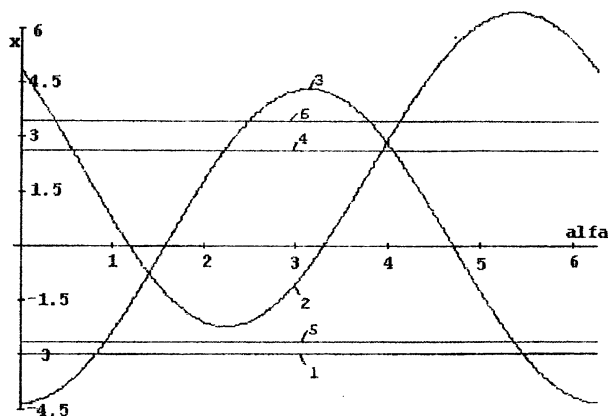


Рис. 3. Зависимости усилий (X , кН) в стержнях 1-6 пространственной конструкции (рис. 1) от изменения угла α (рад) при вращении силы P вокруг вертикальной оси: 1 – S_1 , 2 – S_2 , 3 – S_3 , 4 – S_4 , 5 – S_5 , 6 – S_6

Можно сформулировать несколько общих правил, позволяющих избежать подобных и весьма печальных ситуаций при исследовании вариации любых параметров:

1. Геометрические размеры конструкции должны задаваться в общем виде с использованием соответствующих переменных.

2. Используемые тригонометрические функции должны выражаться через эти переменные.

2. Все данные задачи (величины действующих сил, моментов) также должны задаваться в общем виде с использованием соответствующих переменных.

4. Каждая переменная и используемый угол для разнородных величин (геометрических и силовых) должны выражаться через *собственный* идентификатор. Это требование должно обязательно выполняться даже в том случае, если их значения в данный момент будут равны другим переменным или углам.

5. Нужно обращать особое внимание, чтобы при изменении силового параметра (например, угла поворота силы) не стала изменяться какая-либо геометрическая величина (например, угол, определяющий положение какого-либо стержня). Или наоборот, чтобы изменение геометрического параметра не повлекло за собой изменение величин, определяющих направление действующей нагрузки.

Выполнение этих правил позволит избежать основных опасностей, связанных с *несогласованными изменениями размеров* при использовании СКМ при проектировании машин и типовых конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Носов В.М. Программирование на персональных ЭВМ задач теоретической механики: Учеб. пособие. – Мн.: ТЕХНОПРИНТ, 1997.- 368 с. 2. Выполнение заданий для курсовых работ по теоретической механике с примене-

нием ЭВМ: Метод. пособие по комплекс. преподаванию теоретической механики, вычислительной математики и программирования / [Носов В.М. и др.] под общей ред. В.М. Носова]. – Мн.: БГПА, 1992 - 80 с. 3. Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике: Учеб. пособие для техн. вузов [Яблонский А.А. и др.]; под ред. А.А. Яблонского]. – 3-е изд. – М.: Высш. шк. 1978.- 530 с.

УДК 531.1:621.01]:681.3 (075.8)

Носов В.М., Чубанов С.С.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И МЕХАНИЗМОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Покажем использование систем компьютерной математики (СКМ) DERIVE и MAPLE для исследования конструкций и механизмов на типовом примере сложного движения точки (К-10 [1, с. 137-143]). Исходная расчетная схема приведена на рис. 1а.

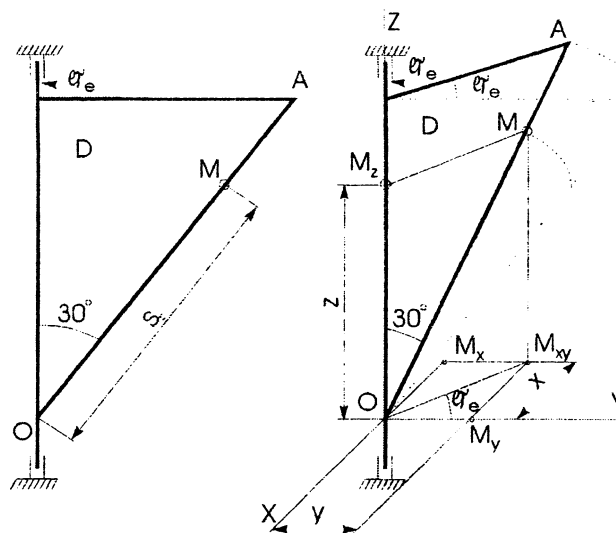


Рис. 1. Схема механизма типового примера задания К-10 [1, с. 137, 141-143]:

а — схема механизма;

б — дополнения для составления уравнений движения материальной точки М

Отметим, что ранее в работе [2] было выполнено аналогичное исследование с использованием системы аналитических вычислений (САВ) REDUCE. Это позволит выполнить в настоящей работе сравнительное исследование результатов, полученных с использованием трех интегрированных пакетов.