

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ УСИЛИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ПЕРЕДАЧ ОТ ДЕЙСТВИЯ СИЛ ТРЕНИЯ

Шакирова Б.Н.

Кеңістік механизмдердің, олардың тиімді шамашарттарын белгілеу үшін, материалдардың физикалық механикалық сипаттамасы мен үзбенің геометриясына, сонымен қатар сыртқы әсердің мөлшері мен түріне байланысты динамикасын зерртеу өткізілді.

Organized study speakers spatial mechanism depending on physico-mechanical features material and geometries section, as well as from value and type external influence for the reason purposes optimum their parameter.

Исследование динамики пространственных механизмов с упруго-деформируемыми звеньями в зависимости от физико-механических характеристик материалов и геометрии звеньев, а также от величины и вида внешних воздействий с целью назначения оптимальных их параметров достаточно трудоемко и на сегодняшний день является проблемной задачей.

Динамическое поведение упругих элементов машин и механизмов могут оказать решающее влияние на основные характеристики механизма в целом – его производительность, точность, прочность, колебания и т.д.

Эффективность применения ЭВМ в той или иной области науки и техники тем выше, чем совершеннее ее математические модели.

Само по себе применение ЭВМ не решает научно-технические задачи, а лишь дает в руки исследователя мощный инструмент познания. Использование ЭВМ не только не освобождает от необходимости глубоко осмыслить решаемую проблему, но заставляет уделять постановке задачи гораздо больше внимания.

Учет силы трения в статическом НДС упруго-деформируемых механизмов позволяет ввести силы и моменты трения в зависимости от вида кинематических пар, пространственных и плоских механизмов [1]:

$$[K]\{U\} = \{F\} + \{F_{mp}\} + \{M_{mp}\}, \quad (1)$$

где $\{F_{mp}\}$, $\{M_{mp}\}$ - вектор силы и момента в кинематических парах ППМ.

При динамическом НДС сила трения учитывается в формуле [2]:

$$[S]\{U\}_{t+\Delta t} = \{R_{smm}(t)\}, \quad (2)$$

где $\{R_{smm}(t)\} = \{F_e(t)\} + [M]\{b_n\} + [C]\{b_m\} + \{J(t)\} + \{G(t)\} + \{\bar{F}_{mp}(t)\} + \{\bar{M}_{mp}(t)\}$ - эффективная нагрузка для момента времени $t + \Delta t$ с учетом сил и моментов трения в кинематических парах; $[S] = a_0[M] + a_1[C] + [K]$ - эффективная матрица жесткости; $[C] = a[M] + b[K]$ - матрица демпфирования.

Составлена программа на персональных компьютерах серии IBM PC с переводом разработанного алгоритма исследования динамического НДС ППМ с учетом сил трения в кинематических парах на языке ФОРТРАН 90 MP с математической библиотекой IMSL фирмы Visual Numerics, Inc.

При учете момента трения наряду с силами инерции и сосредоточенными силами, направленными вниз, в связи с большими значениями сосредоточенных сил влияние трение незначительное.

При учете сил инерции и сил трения в кинематических парах следует иметь в виду, что для решения задач динамического анализа предполагается использование численных методов. При разработке алгоритмов вычислений необходимо учитывать особенности пошаговых процедур интегрирования и требования обеспечения устойчивости вычисления.

С определенной степенью условности решение задач динамики с использованием ЭВМ можно разбить на следующие этапы: 1) постановка проблемы; 2) выбор или построение физической и математической модели; 3) выбор метода исследования; 4) алгоритмизация и программирование; 5) отладка программы; 6) счет, обработка и интерпретация результатов.

Для последующего анализа динамического НДС исследуемых механизмов с упруго-деформируемыми звеньями построена модифицированная математическая модель и с несколькими упрощающими вариантами принимаемой модели для описания соответствующих динамических процессов.

Для решения уравнений движения используется широко распространенный метод пошагового интегрирования Ньюмарка. Этот метод использует условия равновесия в момент времени $t + \Delta t$, и упругие перемещения, скоростей и ускорения в момент времени $t + \Delta t$ вычисляются через их значения, найденные на предыдущих шагах.

Перемещения u, v, w и углы поворотов $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$ поперечного сечения в произвольной точке расчетного элемента механизма в момент времени $t + \Delta t$ вычисляются через их значения, найденные на предыдущих шагах.

При пространственном НДС стержня нормальное напряжение в любой точке поперечного сечения будут равны алгебраической сумме напряжений от изгиба в обеих плоскостях.

Анализ упрощенных моделей весьма полезен в течение всего процесса решения задачи. Такие упрощенные модели часто позволяют ответить на многие принципиальные вопросы и понять основные закономерности поведения более сложной модели.

При предварительном исследовании большое внимание уделяется анализу корректности постановки задачи, т.е. выяснению существования и единственности решения, а также свойств устойчивости решения задачи к погрешностям входных данных.

После устранения ошибок программирования проводится тщательное тестирование программы – проверку правильности ее работы на специально отобранных тестовых задачах, имеющих известные решения.

На этапе счета, обработки и интерпретации результатов решены задачи на ЭВМ по составленной программе в автоматическом режиме. Счет повторяется многократно с различными входными данными для получения достаточно полной картины зависимости решения от входных данных. На рисунке 2 показано изменение упругих узловых перемещений, несущих статические нагрузки и при учете момента трения в узле A в направлении оси OZ (рис.1).

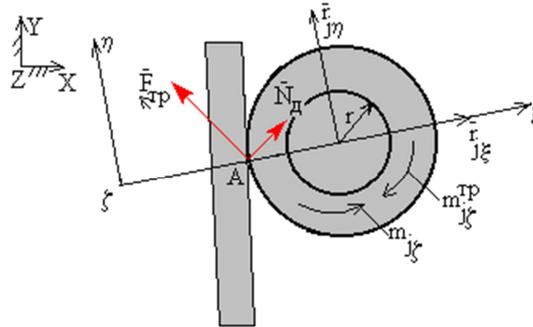
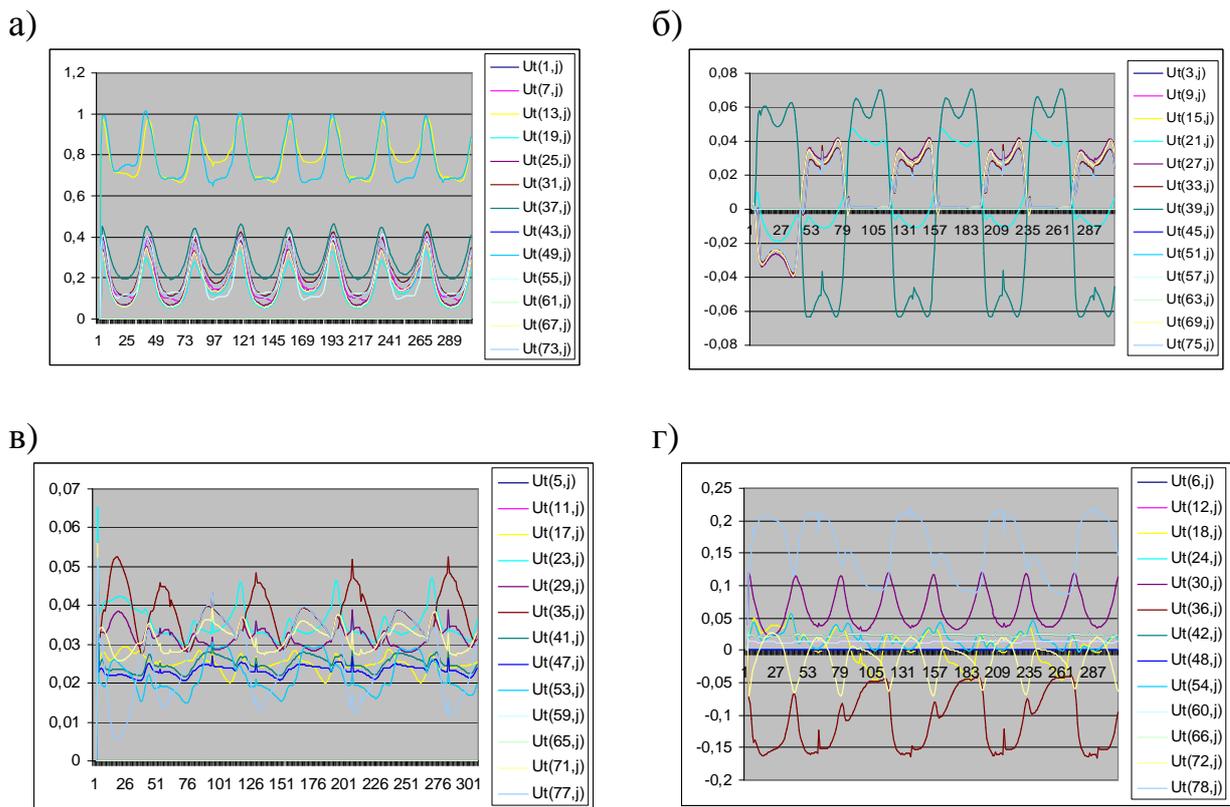


Рисунок 1. - Вращательная кинематическая пара с силой трения в червячном механизме

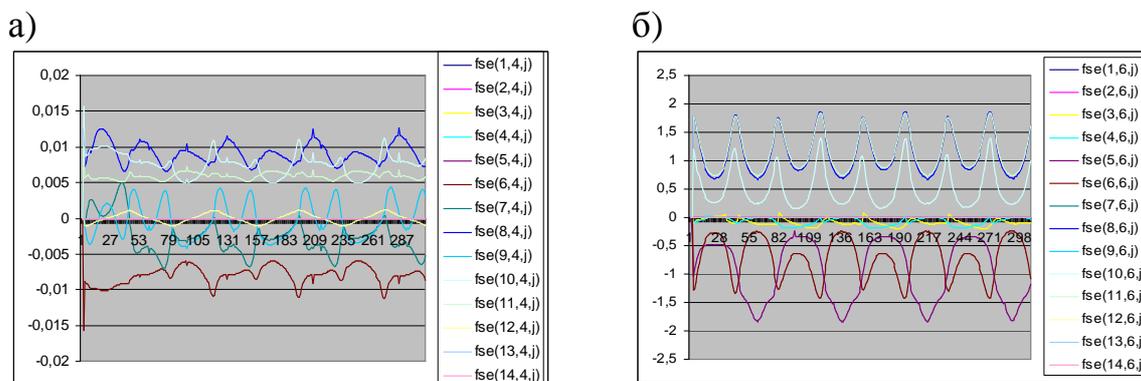


Упругие перемещения в узле A: в продольном направлении оси стержня (а); в поперечном направлении оси стержня (б); изгибные повороты (в), (г)

Рисунок 2 – Изменение упругих узловых перемещений в элементах от действия вертикальных сил и момента трения в узле A

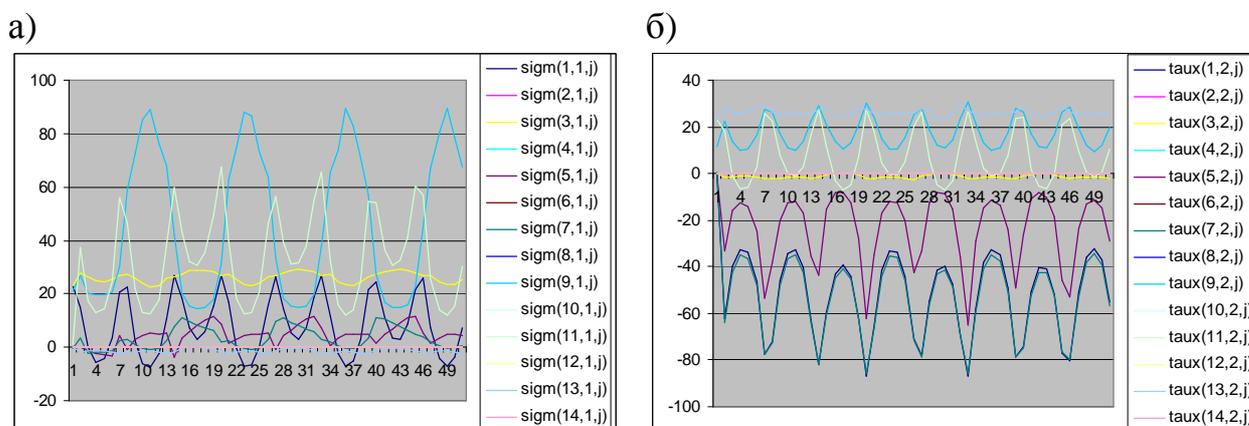
Цель анализа заключается в определении распределения величины упругих перемещений в зависимости от момента трения. Значительное влияние момента трения на упругие перемещения наблюдаются относительно оси OY , но незначительные в остальных направлениях.

При учете момента трения в узле A заметное изменение происходит в значениях величин крутящих и изгибающих моментов и поперечных сил (рис. 3, 4).



Внутренние усилия в узловых сечениях элементов: в начальных сечениях (а), (б)

Рисунок 3 – Внутренние усилия в поперечных сечениях элементов от действия сосредоточенных вертикальных сил и момента трения в узле A



Напряжения в узловых сечениях элементов: нормальные напряжения (а); касательные напряжения (б)

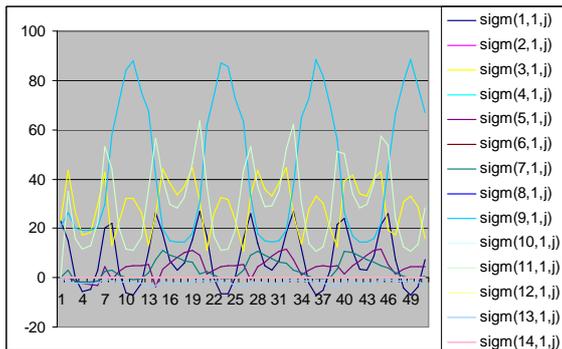
Рисунок 4.– Нормальные и касательные напряжения в элементах от действия сосредоточенных сил, приложенных вертикально вниз и момента трения в узле A

Из построенных эпюр выбраны только одно (максимальное) значение для каждой величины перемещений и внутренних усилий. На рисунках 5-7 показаны изменения упругих перемещений, внутренних усилий, напряжений при действии сосредоточенных сил, приложенных вертикально вниз в узле A .

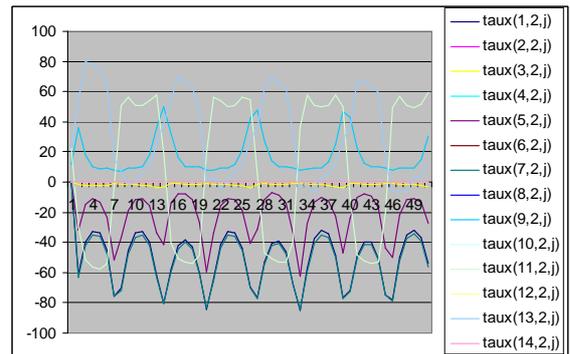
Определены максимальные значения упругих перемещений и внутренних усилий в произвольных сечениях элементов ППМ при его полном функционировании.

При дополнительном приложении к этим силам внешней сосредоточенной поперечной силы, в направлении оси Z в узле A , сильно измениться величины упругих перемещений в этом узле в направлении приложенной силы, в остальных узлах изменение упругих перемещений незначительное.

а)



б)

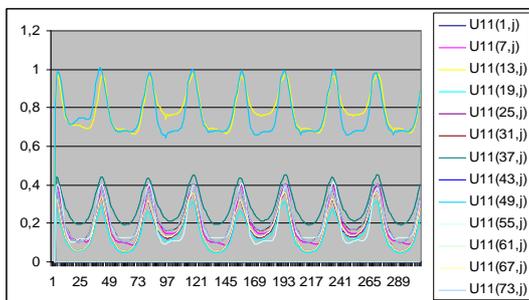


Напряжения в узловых сечениях элементов: нормальные напряжения (а); касательные напряжения (б).

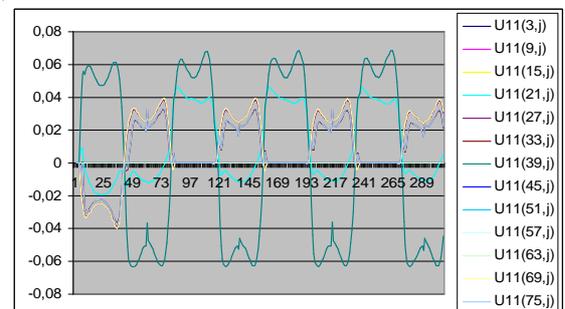
Рисунок 5– Нормальные и касательные напряжения в элементах от действия сосредоточенных сил, приложенных вертикально вниз в узле A

Наряду с вертикальными сосредоточенными силами учет сил инерции во всех узлах в связи с большим значением сосредоточенных сил приводит к незначительным изменениям элементов упругого НДС.

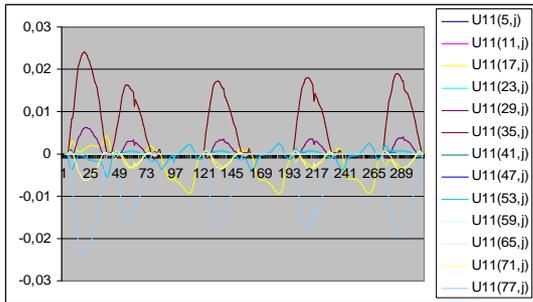
а)



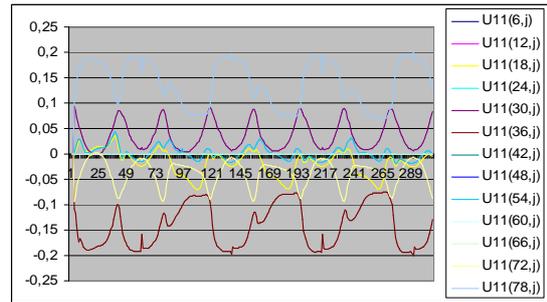
б)



В)



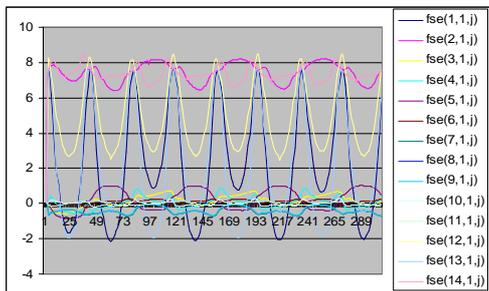
Г)



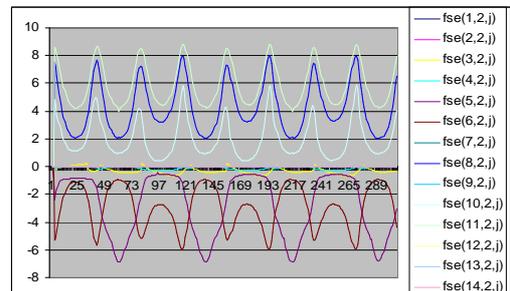
Упругие перемещения в узлах 1-13: в продольном направлении оси стержня (а); в поперечном направлении оси стержня (б); изгибные повороты (в), (г).
Рисунок 6 – Изменение упругих узловых перемещений в элементах от действия сосредоточенных вертикальных сил в узле А

Учет дополнительных сил наряду с сосредоточенными силами, направленных вниз, силами инерции приводит к значительному изменению упругих перемещений, усилий, напряжений как в узловых, так и в произвольных сечениях элементов.

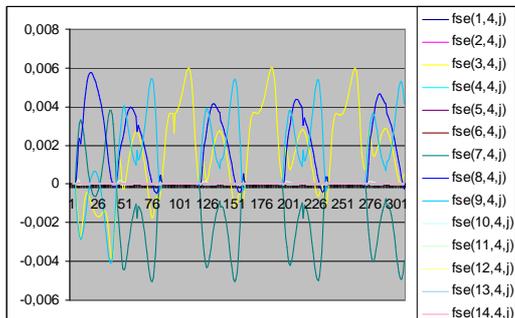
а)



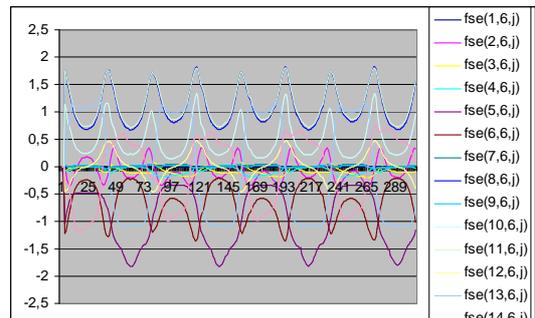
б)



в)



г)



Внутренние усилия в узловых сечениях элементов ППМ: в начальных сечениях (а)-(г).

Рисунок 7– Внутренние усилия в поперечных сечениях элементов (рис.б) от действия сосредоточенных вертикальных сил в узле А

Разработанные и отработанные алгоритм и комплекс программ эффективного применения МКЭ для многовариантных расчетов НДС устанавливает также закономерности распределения этих величин в зависимости от различных кинематических, геометрических, упругих параметров и материалов.

Разработанные методические основы исследование состояния позволяет рассмотреть геометрические и физические параметры. Расчет динамики пространственных механизмов реализует метод конечных элементов в форме метода перемещений, т.е. в формулировке задач даются размеры механизмов, материал, способы соединения звеньев и нагрузки, а неизвестными являются перемещения, которые определяются из уравнений динамики и законов теории упругости.

На основе разработанной методической основы, алгоритмов, комплекса прикладных программ проведен анализ расчета НДС динамики механизма с упруго-деформируемыми звеньями для различных силовых, кинематических, геометрических, упругих параметров и материалов механизмов с целью назначения оптимальных их параметров, автоматизации расчета параметров прочности звеньев.

На основании анализа движения абсолютно твердого тела определялись силы инерции и упругие реакции, дополнительные силы, силы трения. Затем эти силы вводились в линейную разрешающую СЛАУ в качестве внешних сил. Далее определялось полное движение упругого тела путем наложения малых перемещений, полученных на основании, линейной теории, на крупномасштабное движение тела как жесткого.

Установлено, что трения в узлах по разному влияет на НДС: при значительной величине внешних сосредоточенных сил, влияние сил инерции на НДС незначительное, эффект наблюдается только при отдельном совместном приложении трения в узлах и сил инерции; в зависимости от направления внешних сил и скоростей звеньев механизмов величины упругих перемещений, напряжений, внутренних усилий увеличиваются или происходит уменьшение их значений.

Литература:

1. Уинфри. Динамика механизмов с упругими звеньями //Конструирование и технология машиностроения. – 1971. - №1. С.: 222-226.
2. К.Бате, Е.Вилсон. Численные методы анализа и метод конечных элементов. М.: Стройиздат, 1982.-447 с.