## УДК 681.5.037.8

### У. Умбетов1, А. Шининкулова2

Казахско-турецкий международный университет им. Кожа Ахмет Ясауи, Трукестан, Казахстан

Международный тарнспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан E-mail: [sh.anel14@mail.ru](mailto:sh.anel14@mail.ru)

## АНАЛИЗ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В УПРУГИХ И ВЯЗКОУПРУГИХ СРЕДАХ И ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

**ОСТАНОВ ОБОРУДОВАНИЯ**

**Аннотация.** Задачи свободного колебания плоского элемента исследуют все остальные краевые задачи, для решения краевых задач дано обобщение метода декомпозиции в динамике, при этом показано, что метод декомпозиции даёт точное решение, полученное прямым методом, это в свою очередь дают возможность тестировать детали производственных установок на предмет износа приводящей к останове отдельного оборудования или целого технологического процесса. Проверяя детали оборудования на прочность, изучая степени риска возможных поломок, можно прогнозировать авариные остановы, также появляется возможность создания контролируемых останов.

**Ключевые слова.** Проектирование, моделирование, программное обеспечение, анализ, автоматизация.

### Введение.

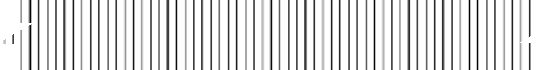
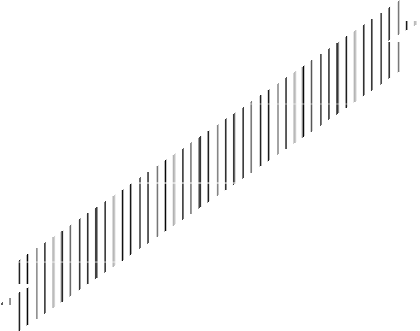
Развитие науки и техники, создание новых конструкций и сооружений, использование качественных материалов и технологий, отвечающих высокому уровню научно- технического прогресса, выдвигает повышенные требования к исследованиям в области динамики деформируемых сред.

Прикладные задачи и законы внутреннего развития фундаментальных исследований в механике деформируемого твердого тела выявили тенденции к последовательному учету физико-механических свойств материалов, характера их деформирования во времени, эффектов взаимосвязи механических деформационных полей с температурными, электрическими и магнитными полями, геометрического строения тел. Среди этих проблем одно из ведущих мест занимают проблемы теоретического анализа колебательных процессов в упругих и вязкоупругих средах и элементах конструкций, нестационарно взаимодействующих с окружающей деформируемой средой.

### Материалы и методы.

Изучение их составляет предмет общей теории колебаний и теории волн, получивших в настоящее время широкое развитие.

Положительные результаты данных исследований приносят пользу при рассмотрении стационарных, нестационарных колебательных и волновых процессов в эксплуатации производственного оборудования, с целью контроля износов деталей и предварительного оповещения о возможных остановах. На рисунке 1 показана безграничная в плане пластинка толщиной 2*h*1 .



Z

h0

h1

h1-h0

0

X

2h0

-h1

Y

Рисунок 1 - Безграничная в плане пластинка толщиной 2*h*1 лежащая под верхним

слоем толщиной *h*0  *h*1 и на поверхности полупространства *z*  *h*1

В современных производственных оборудованиях все большее распространение получают материалы, обладающие вязкоупругими свойствами, в частности полимерные; фундаментальные исследования в области нестационарных процессов деформирования вязкоупругих тел и конкретные расчеты элементов инженерных конструкций из вязкоупругих материалов находят широкое применение в различных областях инженерной практики. Сюда входят задачи определения прочности, оценки надежности и долговечности, определение частотных характеристик, выбора оптимальных параметров, обеспечивающих эффективные условия эксплуатации, устойчивости и некоторые другие вопросы, связанные с поведением элементов конструкций при действии на них динамических воздействий. Эти исследования имеют широкий спектр актуальных приложений в таких областях науки и техники, как сейсмология, геофизика, акустическая дефектоскопия, машиностроение, космическая технология [1].

### Результаты и обсуждения.

Актуальной проблемой современного этапа теоретических исследований в области нестационарных колебаний вязкоупругих тел, наряду с разработкой новых моделей динамического деформирования вязкоупругих материалов, близких к экспериментальным, является развитие эффективных математических методов исследования многих классов плоских и пространственных задач в рамках известных моделей, теоретический анализ основных механических факторов, обусловленных влиянием вязкоупругих параметров.

Несмотря на большое количество теоретических и прикладных исследований в рассматриваемой области, проблемы решения многих важных классов краевых задач и их анализа остаются в основном открытыми или же требуют дальнейшей уточненной разработки.

К их числу принадлежат задачи о нестационарных колебаниях стержней, пластин и оболочек с учетом реологии. При решении задач этого класса в качестве основных разрешающих уравнений применяют приближенные уравнения колебания, полученные из трехмерных уравнений движения теории упругости с помощью различных гипотез и предпосылок механического или геометрического характера, которые существенно упрощают решения задачи.

Кроме того, исходную трехмерную задачу теории упругости сводят к двухмерной или одномерной и с помощью различных математических методов, в числе которых такие методы как вариационный, асимптотический, метод степенных рядов и др.

К настоящему времени выполнено большое количество исследований по приведению трехмерной задачи к двухмерной инженерными и математическими методами. Но эти исследования не исчерпывают проблему полностью, поэтому проблема изучения динамического поведения круговых стрежней, взаимодействующих с деформируемой средой на основе уравнений колебаний, выведенных с помощью строгого математического аппарата требует дальнейшего исследования. Область применения таких задач достаточно широка, ибо круговые стрежни являются элементами многих инженерных конструкций, начиная от простейших машин, приборов и сооружений, кончая сложнейшей космической техникой, атомных и гидроэлектростанций, судостроением и т.д. Учет реологических свойств и анизотропии материала оболочка взаимодействующей среды, изменения температуры, переменности толщины и других факторов приводит к значительному усложнению при исследованиях данных задач. С другой стороны, правильный учет этих факторов имеет большое значение для обеспечения прочности, надежности и долговечности конструкций, позволяет в значительной степени сэкономить материальные ресурсы и минимизирует износ оборудования [2].

Износ ***–*** постепенная поверхностная разрушение материала с изменением геометрических форм и свойств поверхностных слоев деталей.

Ниже перечислены виды износов:

-нормальный;

- аварийный.

В зависимости от причин износ делится на 3 категории:

1. химический;
2. физический;
3. тепловой

Нормальный износ ***–*** изменение размеров, происходящее в короткий срок из-за неправильного монтажа, эксплуатации и технического обслуживания.

Химический износ ***–*** заключается в образовании на поверхности деталей тончайших слоев окиси с последующим отшелушиванием этих слоев. Происходящие разрушения сопровождаются появлением ржавчины, разъедания метала.

Причиной физического износа может быть:

* значительные нагрузки;
* поверхностное трение;
* абразивное и механическое воздействие. И при этом на деталях появляется:
* микротрещины;
* трещины;
* поверхность метала становится шероховатая. Физический износ бывает:

-осповидный;

-усталостный;

* абразивный;
* эрозия.

Тепловой износ ***–*** характеризуется возникновением и последующим разрушением молекулярных связей внутри металла. Возникает из-за повышенной или пониженной температуры.

Причины, влияющие на износ:

1. Качество материала деталей.

Как правило для большинства деталей износоустойчивость тем выше, чем тверже их поверхность, но не всегда степень твердости прямо пропорциональна износоустойчивости. Материалы, обладающие только большой твердостью имеют высокую износоустойчивость. Однако при этом возрастает вероятность появления рисок и отрывов частиц материала. Поэтому такие детали должны обладать высокой вязкостью, которая препятствуют отрыву частиц. Если две детали из однородных материалов испытывают трение, то следовательно с повышением коэффициента трения они быстро изнашиваются, следовательно более дорогие и трудно заменяемые детали нужно изготовлять из более твердого, качественного и дорогого материала, а более дешевые простые детали

изготавливать из материала с низким коэффициентом трения.

1. Качество обработки поверхности детали. Установлено три периода износа детали:
   * начальный период приработки – характеризуется быстрым увеличением зазора подвижных соединений;
   * период установившегося износа – наблюдается медленное, постепенное изнашивание;
   * период быстрого, нарастающего износа – вызываемый значительным повышением зазоров и изменением геометрических форм деталей.

Для повышения срока службы деталей необходимо:

* + сократить максимально первый период, путем очень точной и чистой обработки деталей;
  + повысить максимально второй период;
  + предотвратить третий период.

1. Смазка.

Слой смазки, вводимой между трущимися деталями попадая, заполняет все шероховатости и неровности и уменьшает трение и износ во много раз.

1. Скорость движения деталей и удельное давление.

На основании опытных данных установлено, что при нормальных удельных нагрузках и скоростях движения от 0,05 до 0,7 разрыва масляного слоя не происходит и деталь работает долго. Если повысить нагрузку, то износ детали возрастет многократно.

1. Нарушение жесткости в неподвижных деталях.
2. Нарушение посадок.
3. Нарушение взаиморасположения деталей в сопряжениях.

На сегодняшний день большое количество оборудования, используемого на предприятиях, оснащено автоматизированными системами контроля технологических параметров. Такие системы позволяют производить сбор технологических параметров, хранить данные о режимах работы оборудования, оповещать об аварийных ситуациях и неисправностях. Актуальность разработки методов определения состояния оборудования на основе технологических параметров объясняется принципиальной необходимостью своевременного определения состояний машин и агрегатов с целью предотвращения неисправностей и аварий оборудования [7].

Для численного анализа задач колебательных процессов в упругих и вязкоупругих средах можно успешно применять приближённый метод получения частотных уравнений на основе метода декомпозиции, развитого в работах профессора Г.И. Пшеничного [3-4] для задач статики.

Рассмотрим ряд задач колебания плоских прямоугольных элементов при произвольных граничных условиях по краям элемента с целью определения частот собственных колебаний методом декомпозиции.

Изложим постановку метода на случай плоского элемента, когда материал элемента упругий. В дальнейшем метод будем применять и для элементов из вязкоупругого

материала. На рисунке 2 показана кривые изменения частот собственных колебаний для вязкоупругой пластинки.

В случае плоского элемента из упругого материала приближённое уравнение поперечного колебания четвёртого порядка запишем в виде

2 2

4*W*

2*W*

*W*  *D*0 *t* 2 *W*  *D*1

*t* 4

 *D*2

*t* 2

#  0,

(1)

где коэффициенты *D*0, *D*1, *D*2 определяются геометрией и свойствами материала плоского элемента.

Решение уравнения (1) будем искать в виде

*W*  exp*i b* *W* *x*, *y*

(2)

#   0

*h*

 

Подставляя (2) в уравнения (4.6.1), для *W*0 получаем уравнение

 *b* 2

 *b* 2 

 *b* 2 

2*W*

2

0

 *D* 

  2*W*

  2 

 *D* 

  2  *D* *W*  0

(3)

0 0  *h* 

0  *h*  

1 *h*  

Для применения метода декомпозиции удобнее ввести новые независимые и зависимые переменные

   *x*;

*l*1

   *y*; *l*2

4

*W*  1 *v*;

*l*

0

 4

(4)

  *l*1 ;

*l*2

  1

*h*

*l*

1

В переменных (4) уравнение (3) принимает вид

#  4*v*

2 4*v*

4 4*v* 

2  *b* 2 2

 4

 2

 

 2 2

 4   1 *D*0  *h*   



#  2*v*

2 2*v* 



# 4  *b* 2 2 

 

#  *b* 2 2 

(5)

  2    2   1  *h*   *D*1 *h*    *D*2 *v*  0

       

Метод декомпозиции в теории колебания в общей постановке сводится к следующему [5].

Формулируется постановка вспомогательных задач. Задача 1. Найти решение уравнения

4

 *v*

1 

 4

*f* 1

,  

(6)

при граничных условиях

*L*1 ,    0;

*L*2  ,    0;

  0; 

(7)

Задача 2. Найти решение уравнения

4 4*v*2 

 4

*f* 2 ,  

(8)

при граничных условиях

*L*3  ,    0;

*L*4  ,    0;

  0; 

(9)

Граничные условия на краях пластинки зависят от условий её закрепления или на свободном крае от напряжений.

Оставшаяся часть уравнения (5)

4*v*3

 *b* 2

2  2*v*3

2 2*v*3 

4  *b* 2

2 2

2  *D*0 

  

2  

2   1 *D*0   

 

 *h* 



 

 

 *h* 

(10)



 2   *b* 2  2 

1

  2  

 *D*1 *h* 

 *D*2 *v*3  *f*

,  *f* ,  0,

   

где *f*  *j*,   произвольные функции, вид которых зависит от решаемых краевых задач.

Следуя методу декомпозиции будем считать, что

*v*  1 *v*  *v* 

(11)

3 2 1 2

и условие должно выполняться в заданных точках плоского элемента.

7

*β*

τ0=0,5

τ0=1

τ0=5

6

5

4

3

2

1

0 2 4 6 8

10 *γ*

Рисунок 2 - Кривые изменения частот собственных колебаний для вязкоупругой

пластинки при  0  0,5 ,  0  1,  0  5 , 1  0,34 и  2  0,3

Общие решения уравнений вспомогательных задач (6) и (8) имеют вид

     3      2          

*v*1 *f*1 , 6 1 2 2

3 4 ;

(12)

*v*1 

*f*1  ,

   3 

# 6

    2 

1 2

2     3

 

4  ;

где  *j* , *j* произвольные функции аргументов и определяются из граничных условий (7) и (9).

В дальнейшем произвольные функции в общем виде представим как

*f*  *j* ,    

*n*1





*j*1

*a* *j* sin*n*sin*m*,

(13)

где *a* *j*  произвольные постоянные, а функции *f* ,   в общих решениях (4.6.12) равны

*n*,*m*

*n*,*m*

*j*

  *a* *j* 

*f*1 ,     *n*,*m* sin*n*sin*m*;

*n* 1 *j* 1 *n*4

*f*2  ,   





*n*1





*j*1

*a*2

*n*,*m* sin



*m*4

*n*sin

*m*.

(14)

Используя частные решения задач при заданных граничных условиях и используя

*a*

приближённые представления (11), для нахождения неизвестных

 *j*  *n*,*m*

получаем

однородную линейную систему алгебраических уравнений, нетривиальное решение которых приводит к частотному уравнению.

### Выводы.

Таким образам, приближённый метод декомпозиции позволяет находить частоты собственных колебаний плоских элементов. Задачи для вязкоупругого материала плоского элемента решаются аналогично.

Аналитические и числовые результаты, полученные в статье по исследованию собственных колебаний прямоугольных в плане плоских элементов и распространению гармонических волн в плоских элементах, позволяют констатировать возможность применения декомпозиционного метода для получения точных решении колебательных процессов в упругих и вязкоупругих средах и элементах конструкций для прогнозирования останов оборудования. На основе теоретических результатов сформулированы и решены краевые задачи о собственных колебаниях прямоугольных плоских элементов, которые смоделированы в программе Trace Mode. Задачи свободного колебания плоского элемента исследует все остальные краевые задачи, для решения краевых задач дано обобщение метода декомпозиции в динамике, при этом показано, что метод декомпозиции даёт точное решение, полученное прямым методом, это в свою очередь дают возможность тестировать детали производственных установок на предмет износа приводящей к останове отдельного оборудования или целого технологического процесса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Morokina G. Computer-Aided Design Systems of Decentralization on the Base of Trace Mode in the Industry // 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon)
2. Майлыбаев Е., Умбетов У. BUILDING FAULT-TOLERANT DECENTRALIZED

SYSTEMS//«Известия» КГТУ им. И. Раззакова Текник.-2019-№2(50) Part1. –С.100-104

1. Пшеничнов Г.И. Метод декомпозиции решения уравнения и краевых задач. – М.: ДАН СССР, 1985, т.182, № 4, с.792-794.
2. Пшеничнов Г.И. Решения некоторых задач строительной механики методом декомпозиции. / - Строительная механика и расчет сооружений, 1986, № 4, с.12-17.
3. Сейтмуратов А.Ж. Приближенный метод решения динамических задач для линейных вязкоупругих сред // ИЗВЕСТИЯ МГТУ Машиностроение. -2007.-№11. -С.9-15.

Алматы, Қазақстан, [ersind@mail.ru](mailto:ersind@mail.ru)