НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ

На правах рукописи

КОВАЛЕВ Игорь Николаевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КИНЕТИЧЕСКОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

01.02.01 "Теоретическая механика"

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

г. Донецк 1995

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ

На правах рукописи

КОВАЛЕВ Игорь Николаевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КИНЕТИЧЕСКОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

01.02.01 "Теоретическая механика"

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Донецк 1995

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00761401 (J)

Работа выполнена в Инст
и механики НАН Украины /г.До

Научный руководитель: член-корреспондент НАН Украины,
доктор физико-математических наук,
профессор А.Я.Савченко

Официальные оппоненты

доктор физико-математических наук, профессор А.А.Илюхин
кандидат физико-математических наук Ю.Н.Кононов

Ведущая организация - Институт математики НАН Украины
/ г.Киев /

Защита состоится "15" декабря 1995 г. в 15 час.
на заседании специализированного совета Д 05.01.01 по присуждению ученой степени кандидата физико-математических наук при Институте прикладной математики и механики НАН Украины по адресу: 340114, г.Донецк -114, ул.Розы Люксембург, 74 .

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института прикладной математики и механики НАН Украины.

Автореферат разослан "14" ноября 1995 г.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Ученый секретарь специализированного
совета, кандидат физико-математических
наук А.И.Марковский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. При исследовании движений реальных объектов современной техники широкое применение получило их моделирование в виде системы связанных твердых тел. (ССТТ). В частности, это относится к ракетам и другим летательным аппаратам, гиростатам, мощным центрифугам, гироскопическим устройствам. Модель ССТТ используется также при решении важной задачи динамической балансировки быстровращающихся крупногабаритных твердых тел. В последнее время существенно возрос интерес к кинетическим накопителям энергии КНЭ как к относительно новому способу аккумулирования энергии с высокой плотностью и экологически чистому источнику энергии для различных транспортных средств.

Одним из важнейших свойств изучаемых объектов является свойство устойчивости их стационарных движений, ибо, как правило, именно им соответствуют рабочие режимы реальных устройств. Этим и определяется актуальность нахождения условий устойчивости стационарных движений как одного твердого тела, так и ССТТ .

Инициатором развития теоретических и экспериментальных методов исследования ССТТ в виде твердого тела на струне или струнном подвесе был академик А.Ю.Ишлинский, под руководством которого получены важнейшие результаты в этой области. На данный момент имеются немалые достижения отечественной и зарубежной науки, посвященные изучению движения объектов,моделируемых ССТТ. Большой вклад в развитие этой области аналитической механики внесла Донецкая школа механики.Решением этих задач

связаны имена ведущих ученых : И.Виттерга, Г.В.Горра , Д.М.Климова, А.М.Ковалева , В.Н.Кошлякова , А.И.Лурье , Д.М.Меркина, В.В.Румянцева , А.Я.Савченко , В.А.Стороженко, М.Е.Темченко , П.В.Харламова , Н.Г.Четаева и др.

Настоящая работа и посвящена изучению ССТТ , в основном моделированию КНЭ, выделению стационарных движений этих систем, исследованию устойчивости выделенных движений, как в обычных так и резонансных ситуациях .

Целью работы является решение следующих вопросов :

1) Вывод уравнений движения КНЭ .

2) Нахождение и исследование условий существования стационарных движений , их классификация .

3) Исследование необходимых условий устойчивости выделенных стационарных движений первым методом Ляпунова.

4) Изучение резонансных ситуаций.

5) Построение уравнений движения твердого тела несущего другие тела, которые совершают заданные относительные движения.

Методы исследования. При исследованиях, проводимых в диссертационной работе, использовались методы аналитической механики и теории устойчивости движения. Уравнения движения КНЭ записаны в форме уравнений Лагранжа II рода . Необходимые условия устойчивости, исследуемых стационарных движений найдены с использованием критерия Покровского. При работе над этими условиями использовался язык аналитических преобразований для ПЭВМ РЕФИСЕ , при построении областей выполнения необходимых условий устойчивости - система автоматизации инженерных расчетов MATLAB .

Научная новизна работы состоит в следующем.

1. Получены уравнения движения КНЭ, моделируемого системой пяти связанных твердых тел, учитывающие смещение центра масс диска от точки крепления.

2. Найдены условия существования 4 типов стационарных движений.

3. Получены необходимые условия устойчивости основного типа стационарного движения.

4. Найдены резонансные частоты I и II рода в задаче об устойчивости равномерных вращений КНЭ.

5. Изучена резонансная кривая в задаче о движении КНЭ. В пространстве основных параметров исследована резонансная поверхность.

6. Изучено влияние малой несимметрии на устойчивость стационарного движения в окрестности резонансных частот.

7. Построены уравнения движения твердого тела, несущего тела, совершающие заданные относительные движения и приведен иллюстративный пример их использования.

Практическая ценность. Полученные в настоящей работе результаты имеют не только теоретическое, но и практическое значение. Они могут быть использованы конструкторами на этапе предэскизного проектирования КНЭ и при исследовании устойчивости некоторых рабочих режимов устройств, моделируемых ССТТ.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на Республиканской конференции "Динамика твердого тела и устойчивость движения" (Донецк, сентябрь 1990 г.), II школа-семинар "Методы

математического моделирования в научных исследованиях" (Донецк, сентябрь 1990г.), на научной конференции "Моделирование сложных механических систем"(Ташкент, сентябрь, 1991г.), на УII Всесоюзном съезде по теоретической и прикладной механике (Москва,август,1991г.), на семинарах отделов прикладной механики, технической механики Института прикладной математики и механики АН Украины.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из 4 глав (включая введение) заключения и списка литературы (58 наименований). Объем работы страницы 102 машинописного текста. Количество рисунков - 16 .

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ.

В первой, вводной, главе обоснована актуальность темы, дан обзор работ, относящихся к теме диссертации, кратко изложено содержание работы и сформулированы основные результаты, выносимые автором на защиту.

Вторая глава посвящена нахождению необходимых условий устойчивости стационарных движений КНЭ.

В пункте 2.I дано описание механической модели КНЭ. КНЭ состоит из гибкого вала с массивным диском и моделируется системой пяти связанных твердых тел. Введена в рассмотрение неподвижная система координат $O\xi\eta\zeta$, ось $O\zeta$ которой совпадает с осью вращения КНЭ в состоянии покоя. Плоскость $O\xi\eta$ - плоскость π, с которой во все время движения совпадает плоскость симметрии диска с центром в

точке O_2. Определены кинематические характеристики и кинетическая энергия ССТТ. Изучаемая система имеет пять степеней свободы, соответствующих обобщенным координатам ξ, η, α, β, φ, где ξ, η - обобщенные координаты, характеризующие упругие смещения опор оси вращения, а φ, α, β - обобщенные координаты, характеризующие угловые перемещения, входящих в систему тел. Уравнения движения системы выписаны в форме уравнений Лагранжа II рода.

Пункт 2.2 посвящен нахождению условий существования стационарных решений, считая что внешние массовые силы отсутствуют, $K_2 \neq m\omega^2$, а величина вращающего момента $M(\dot{\varphi}, \varphi, t)$ - из условия, что система уравнений при $\varepsilon = 0$ допускает решение, в котором :

$$\alpha = \alpha_0, \quad \beta = \beta_0, \quad \dot{\varphi} = \omega$$

Найдено четыре типа таких решений :

$$\xi = 0, \ \eta = 0, \ \alpha_0 = 0, \ \beta_0 = 0, \ \dot{\varphi} = \omega \tag{I}$$

$$\xi = C_1 \sin\omega t + C_2 \cos\omega t, \ \eta = -C_2 \cos\omega t + C_2 \sin\omega t,$$

$$\cos\alpha_0 = \cos\beta_0 = \left\{ \frac{K_1(K_2 - m\omega^2)}{\omega^2((K_2 - m\omega^2)B + b^2\omega^2)} \right\}^{1/3}, \quad \dot{\varphi} = \omega \tag{2}$$

$$\xi = C_1 \sin\omega t, \quad \eta = -C_1 \cos\omega t,$$

$$\beta_0 = 0, \quad \cos\alpha_0 = \frac{K_1(K_2 - m\omega^2)}{\omega^2((K_2 - m\omega^2)B + b^2\omega^2)}, \quad \dot{\varphi} = \omega \tag{3}$$

$$\xi = C_2 \cos\omega t, \quad \eta = C_2 \sin\omega t,$$

$$\alpha_0 = 0, \quad \cos\beta_0 = \frac{K_1(K_2 - m\omega^2)}{\omega^2((K_2 - m\omega^2)B + b^2\omega^2)}, \quad \dot{\varphi} = \omega \tag{4}$$

В пункте 2.3 для нахождения необходимых условий устойчивости движения ЮЮ и, в дальнейшем, резонансных

частот уравнения движения КНЭ записаны в"полуподвижных" координатах. Для этого вместо обобщенных координат ξ, η характеризующих поступательное движение системы, введены обобщенные координаты : ξ_*, η_* по формулам :

$$\xi = \xi_* \cos\varphi - \eta_* \sin\varphi, \quad \eta = \xi_* \sin\varphi + \eta_* \cos\varphi$$

Необходимые условия устойчивости выписаны для наиболее интересного, с точки зрения приложений, решения $\xi = \eta = \alpha = \beta = 0, \dot{\varphi} = \omega$, которому соответствуют рабочие режимы движений КНЭ. Выписано характеристическое уравнение, соответствующее уравнением первого приближения. Условия существования действительных корней у характеристического уравнения являются необходимыми условиями устойчивости изучаемого движения.

В пункте 2.4 проведен анализ необходимых условий устойчивости движения КНЭ. В плоскости основных параметров р и к определена область выполнения необходимых условий устойчивости, где р и к безразмерные параметры вида $P = \frac{K_1 m}{K_2 A_*}$, $K = \frac{b^2}{m A_*}$

Третья глава посвящена изучению влияния малой несимметрии на устойчивость движения КНЭ, так как любые реально существующие изделия имеют те или иные отклонения от симметричных.

В пункте 3.I найдены резонансные частоты первого и второго рода. Анализ сравнения резонансных частот показал, что резонансные частоты II рода могут иметь меньшие значения, чем резонансные частоты I^{го} рода. Это означает, что проектируемая механическая система может попасть в зону неустойчивости при меньших значениях ω. В плоскости

параметров K_I и K_2 указана область, в которой резонансные частоты II рода имеют меньшие значения, чем резонансные частоты I рода.

В пункте 3.2 проведен детальный анализ резонансной кривой I рода в полярных координатах. В пространстве параметров ω^2, β, φ построена резонансная поверхность.

В пункте 3.3. Найдены условия существования стационарного решения вида :

$$\alpha_0 = 0; \quad \beta_0 = \beta_0(\varepsilon), \; \xi_* = \xi_0(\varepsilon), \; \eta = 0, \; \dot{\varphi} = \omega \qquad (5)$$

С этой целью были изучены уравнения движения КПЭ, имеющие малую несимметрию, характеризуемую малым параметром . Оказалось, что данная система может иметь решение (5), которое при $\varepsilon \to 0$ переходит в решение (1). В характеристическом уравнении изучен свободный член при $\omega = \omega_{рез}$ Показано, что появление любой несимметрии в системе может привести к появлению неустойчивости в окрестности резонансных частот.

Четвертая глава посвящена исследованию динамики систем связанных твердых тел. Изучен вопрос формирования заданных движений абсолютно твердого тела за счет относительных движений носимых тел.

В пункте 4.I. Построена математическая модель движения системы двух абсолютно твердых тел носителя и носимого тела, относительные движения которого можно использовать для формирования управляющих воздействий на тело-носитель и изучение общих динамических свойств типа существования первых интегралов и частных решений, информация о которых необходима как для решения задач управления и

стабилизации, так и для проверки численных алгоритмов расчета движения изучаемой системы. Указана возможность распространения результатов на случай n -носимых тел.

В пункте 4.2. Приведен иллюстративный пример исследования построенных уравнений в задаче о движении трех связанных тел.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Получены уравнения движения КИЭ, моделируемого системой пяти связанных тел, учитывающие смещение центра масс диска.

2. Найдены условия существования 4 типов стационарных движений.

3. Установлены необходимые условия устойчивости, основного типа стационарного движения : $\xi=0$, $\eta=0$, $\alpha=0$, $\beta=0$, $\dot{\varphi}=\omega$.

4. Найдены резонансные частоты в задаче о движении КИЭ.

5. Исследована резонансная кривая I рода. В пространстве основных параметров исследована резонансная поверхность.

6. Изучен вопрос о влиянии малой несимметрии на устойчивость стационарного движения в окрестности резонансных частот.

7. Построены уравнения движения твердого тела, несущего тела, совершающие заданные относительные движения, приведен иллюстративный пример их использования.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах.

1. Савченко А.Я., Ковалев И.Н. Формирование заданных

динамических свойств твердого тела за счет относительных движений носимых тел // Динамика систем связанных твердых тел и тел с полостями, содержащими жидкость. - Донецк, 1990 - с.3-12.-(преп./ АН УССР.Ин-т прикл.математики и механики, № 90.03).

2. Ковалев И.Н. Изучение возможности реализации гиростата за счет относительных движений двух носимых тел. Тезисы докл. республ.конф. "Динамика твердого тела и устойчивость движения". (Донецк, 4-6 сентября 1990 г.) - Донецк. 1990. - с.11.

3. Ковалев И.Н. Изучение стационарных движений одной системы типа гиростат. Тез.докл. II школы-семинара "Методы математического моделирования в научных исследованиях". (Донецк. 9-11 сентября 1990 г.)- Донецк, 1990 - с.49.

4. Ковалев И.Н., Савченко А.Я. Исследование динамических свойств кинетического накопителя энергии прецессионного типа. Аннотации докладов УII Всесоюзного съезда по теоретической и прикладной механике. (Москва, 15-21 августа 1991 г.) - Москва, 1991. - с. 194 .

5. Савченко А.Я., Болграбская И.А., Ковалев И.Н., Моделирование систем с распределенными параметрами типа стержневых систем связанных твердых тел. Тез.докл. научн. конф. "Моделирование сложных механических систем". (Ташкент, 17-21 сентября 1991 г,) - Ташкент, 1991. - с. 6.

6. Савченко А.Я., Ковалев И.Н., Савченко Я.А. Математическое моделирование кинетического накопителя энергии системой связанных твердых тел.// Механика твердого тела. - 1992 - Вып. 24. - с. 69-75 .

Ковалев И.Н. Исследование динамических свойств кинетического накопителя энергии. (Рукопись).

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 - теоретическая механика, Институт прикладной математики и механики НАН УкраиныI, Донецк, 1995.

На защиту вынесятся результаты, связанные с выводом уравнений движения КНЭ, с исследованием существования и устойчивости стационарных движений КНЭ, построением и анализом областей устойчивости, найденных стационарных движений; изучение существования резонансных ситуаций и поведение КНЭ в окрестности резонансных ситуаций.

Kovalyov I. N. Dinamic properties investigation of kinetic energy accumulator (a manuscript).
Thesis for the Degree of Candidate of sciences in Physics and Mathematics, the speciality 01.02.01 - Theoretical Mechanics, the Institute of Applied Mathematics and Mechanics, the National Academy of Sciences of Ukraine, Donetsk, 1995.
Results connected with the conclution of motion equation of kinetic energy accumulator and ones linked with the investigation of existence and stability of stationary motions of kinetic energy accumulator are defended.
Domains of stability of found stationary motions have been constructed and their analysis has been made.
The author examines the existence of resonance situations and kinetic energy accumulator behavior in the close vicinity to resonance situations.

Ключові слова: сили, стійкість, резонанс, накопичувач, кутова швидкість.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Подп. к печати 6.10.95г. Формат 60x84/16. Бумага типографская №1. Усл.печ.л.1. Тираж 100 экз. Зак. № 749.

Ротапринт ин-та "Донецкий Стройпроект". Донецк - 340114, ул.Университетская, 80.

446039

Ав 33.381