

ОБМЕН ЭНЕРГИЕЙ МЕЖДУ МАЯТНИКАМИ В ЦЕПОЧКЕ НЕСВЯЗАННЫХ ЛИНЕЙНЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

Е.Е.Гетманова

ООО “Дистанционный репетитор”, Москва

elge@mail.ru

В работе определены, временные интервалы обмена энергией между различными парами маятников в цепочке, линейных несвязанных осцилляторов. Установлено, какие осцилляторы выполняют обмен в определенных временных интервалах. Показано, как максимальная энергия, которой обладает некоторое число маятников, перемещается по цепочке, в область низких частот.

Волны в системе несвязанных линейных осцилляторов, длительность интервала обмена, перемещение максимум энергии

В работе [1], показано, что несвязанные линейные осцилляторы (маятники) (расположенные в ряд) с кратными частотами , $\omega_{0s} = 5s, s = 1, 2, \dots, s_{MAX}$ ($s_{MAX} = 40$) под действием импульса $T = \frac{2\pi}{\omega}$ силы ($\omega = 100, c^{-1}$) совершают свободные колебания, характерной особенностью которых является появление волн, в результате согласованных колебаний маятников, входящих в определенные (волновые) группы.

Предположения о существовании

1) волн-групп – совокупностей осцилляторов, формирующих волну в момент $t_{S, 2\pi}$ (середина временного интервала существования ансамбля с числом волн S , включенные в волну-группу маятники имеют одинаковую фазу, энергия каждого, как элемента волны, равна сумме потенциальных энергий маятников)

2) энергетических групп – совокупности осцилляторов, которые обмениваются (получают или отдают энергию), при достижении максимального смещения (максимального значения потенциальной энергии) осцилляторы, включенные в волну-группу, переходят в следующие энергетические группы

позволяет рассматривать колебания маятников не как совокупность отдельных волн ансамбля, а как единый волновой процесс, охватывающий все осцилляторы. Данное допущение возможно, поскольку спектр формирования ансамблей волн плотный и, по сути, в любой момент времени можно определить момент времени $t_{S, 2\pi}$ для некоторого ансамбля волн.

Цель данного исследования состоит в построении модели передачи энергии в цепочке несвязанных линейных осцилляторов, как модели обмена энергией между внутренними органами человека, которые имеют кратные частоты.

Аналитические и численные результаты позволили определить временные интервалы, обмена энергией между парой низкочастотных маятников, один из которых $5, c^{-1}, s = 1$, частота второго увеличивается от $10, c^{-1}, s = 2$. Установлено возникновение в данном временных интервалах определенных сопутствующих (обменных) пар маятников. Показано, что максимальная энергия любой обменной пары меняется, что визуально наблюдается, как передача энергии маятникам определенной частоты.

Обмен между двумя произвольными фиксированными парами осуществляется четыре раза за время $20,5T$ периода формирования ансамблей волн. Период включает четыре временных диапазона, Образование совокупностей волн выполняется в прямом и обратном порядке одинаково в диапазонах 1) $(1-5,5)T$ и $(15,5-20)T$, 2) $(5,5-10,5)T$ и $(10,5-15,5)T$. В $(1-5,5)T$ и $(10,5-15,5)T$ в каждой энергетической группе происходит передача энергии от низкочастотного маятника к высокочастотному. При этом уменьшается число осцилляторов в группах и увеличивается их число. В диапазонах $(5,5-10,5)T$ и $(15,5-20)T$ происходит обратный процесс передачи от высокочастотных маятников к низкочастотным, увеличивается число осцилляторов в группах и уменьшается из количество.

В каждом диапазоне обмен энергией между фиксированной парой маятников имеет одинаковую длительность. Меняется направление передачи энергии. Длительности обмена (в каждом диапазоне) между парой 1) $5, c^{-1}, s = 1$ и $10, c^{-1}, s = 2$, составляет $1,67T$, 2) $5, c^{-1}, s = 1$ и $15, c^{-1}, s = 3$ - $0,83T$, 3) $5, c^{-1}, s = 1$ и $20, c^{-1}, s = 4$ - $0,5T$, 4) $5, c^{-1}, s = 1$ и $25, c^{-1}, s = 5$ - $0,33T$, 5) $5, c^{-1}, s = 1$ и $30, c^{-1}, s = 6$ - $0,24T$, 6) $5, c^{-1}, s = 1$ и $35, c^{-1}, s = 7$ - $0,18T$, 7) $5, c^{-1}, s = 1$ и $40, c^{-1}, s = 8$ - $0,14T$. Из приведенных данных следует, что, чем меньше частота второго маятника отличается от частоты первого, тем длительнее интервал обмена

Одновременно во временном интервале обмена энергией между парой низкочастотных осцилляторов формируются сопутствующие (дополнительные) пары высокочастотных маятников, между которыми тоже выполняется обмен (передача энергии) Чем длительнее время обмена между маятниками в первой группе, тем больше возникает сопутствующих обменных пар маятников. Обменные пары появляются только при определенных частотах осцилляторов в первой энергетической группе и не наблюдаются во временных интервалах обмена других низкочастотных маятников.

Энергия каждого в любой обменной паре маятника меняется при создании последовательного ансамбля волн, в результате изменения числа энергетических

ческих групп и число элементов в волне-группе. В результате, в фиксированном временном интервале существования некоторой пары низкочастотных элементов, где создаются обменные пары, максимум энергии связывается то с одной, то с другой парой и перемещается по цепочке, увеличивая смещение (энергию) некоторого числа осцилляторов с меньшей частотой.

На рис.1 показан обмен энергией между парами осцилляторов, созданных в интервале $0,83T$, между моментами $3T$ (ансамбль из восьми волн) и $3,83T$ (шесть волн). В первой энергетической группе наблюдается обмен между $5, c^{-1}, s=1$ и $15, c^{-1}, s=3$ ($s=1$ передает энергию $s=3$, соответственно, учитываются и обмен между маятниками волны-группы). Подобный обмен выполняется между 1) $17,17T$ и $18T$ ($s=1$ получает энергию от $s=3$), 2) $7,17T$ и $8T$ ($s=1$ получает энергию от $s=3$), 3) $13,83T$ и $13T$ ($s=1$ передает энергию $s=3$). В момент $3T$ наблюдается одинаковое распределение энергии (рис.1 и 2.1) для оригинальной и тождественных групп, что означает максимальную энергию группы. Одна оригинальная группа создается в моменты появления ансамблей из семи ($3,36T$) и шести ($3,83T$) волн. Образование одной энергетической группы сопровождается максимум энергии группы.

На рис.1 показано изменение энергии осцилляторов в рассмотренном интервале, В интервале обмена энергией между данной парой низкочастотных маятников, выявляется сопутствующая пара (вторая энергетическая группа) обменных маятников $20, c^{-1}, s=4$ и $35, c^{-1}, s=7$, которая существует до момента $3,36T$ (7 волн в ансамбле). После чего пара трансформируется в $20, c^{-1}, s=4$ и $30, c^{-1}, s=6$. Третья энергетическая группа включает осцилляторы 8-11, и отдает $s=11$ и $s=10$ ($3,23T$, двадцать две волны и $3,5T$, двадцать волн), приобретая $s=7$ ($3,36T$, семь волн). В результате пара включает маятники 7-9 (и маятники волн-групп). Аналогичные изменения происходят с каждой группой. Поскольку окончание интервала определяется моментом образования ансамбля из шести волн, то осцилляторы кратные трем переводятся (в каждой группе) в состояние максимального смещения. Энергия пары маятников с максимальной в данный момент энергией (при ансамблях числом волн $39,38,37,36,34,33$) также представлена на рис.1 и отмечается кружками, которые возникают в определенные моменты времени.

Чем меньше маятников в энергетических группах, тем в более узкой последовательности маятников происходит увеличение энергии при росте волн в ансамбле. И далее именно такая совокупность маятников начинает последовательно увеличивать свою энергию, проявляясь в области низких частот. Чем меньше энергетических групп, тем явственнее движение сгустка энергии, поскольку данное энергетическое образование включает небольшое число маятников и его передвижение выполняется в течение длительного временного промежутка. На рис.2, показано, как происходит передача энергии последовательному ряду низкочастотных маятников, при увеличении числа волн. Отмечены номера маятников, как составляющих оригинальные группы, так и тожде-

ственные. В общем случае, в тождественные группы включаются осцилляторы, составляющие оригинальную группы в предыдущий момент времени. Данное замечание означает, что в определенных интервалах в процессах обмена принимают участие только ограниченное число осцилляторов.

Обмен энергией между парами маятников в энергетических группах
 В первой энергетической группе выполняется обмен между первым $s = 1,5c^{-1}$ и третьим $s = 3,15c^{-1}$ маятниками. Длительность обмена $0,83T$

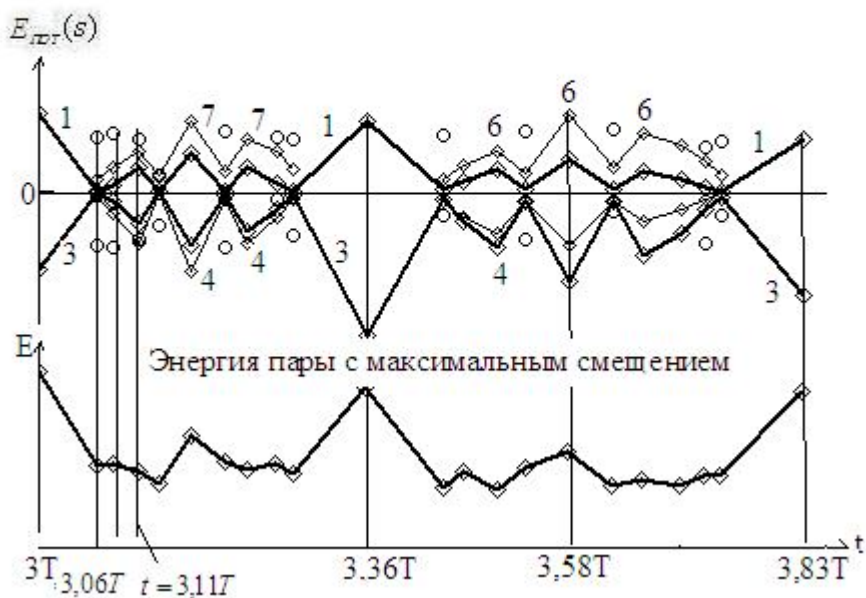


Рис.1

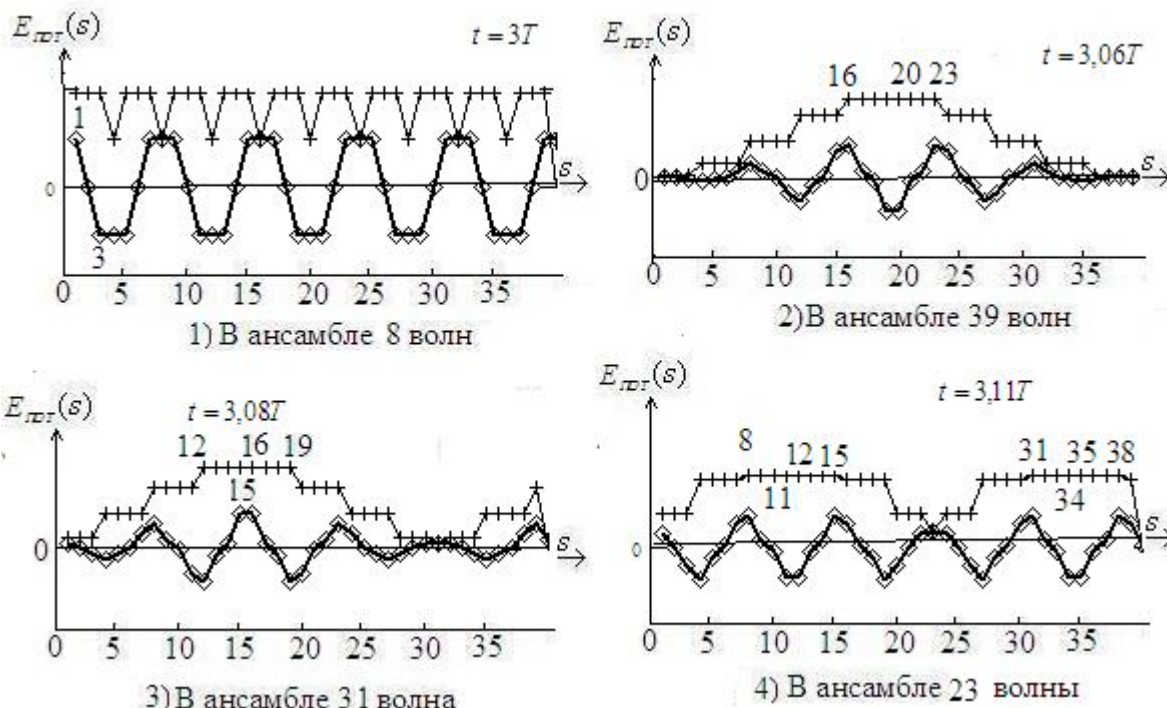


Рис.2

Выводы

1 Обмен энергией между парой осцилляторов $\omega, c^{-1}, s = 1$ и $s \geq 2$ (первая энергетическая группа) выполняется в одинаковом временном интервале в любом временном диапазоне. При возникновении каждого последующего интервала процесс передачи энергии для $\omega, c^{-1}, s = 1$ сменяется процессом получения энергии. Чем ближе частота второго маятника к $\omega, c^{-1}, s = 1$, тем длительнее интервал обмена

2 В интервалах обмена между фиксированной парой маятников первой энергетической группы появляются дополнительные пары высокочастотных маятников, выполняющие обмен в более коротком интервале. Данные пары и время их существования также одинаковы во всех временных диапазонах

3 Энергия пары маятников, выполняющих обмен, меняется при последовательном формировании ансамблей волн и может достигать максимальной энергии. Максимальная энергия связывается с различными парами маятников. Переход максимума энергии от одной пары маятников к другой рассматривается как волновой процесс по передаче энергии. Осцилляторы не участвующие в процессе обмена в данном интервале, рассматривают как имеющие смещение близкое к равновесному. Таким образом, можно предположить, что в любом временном интервале в процессе передачи энергии принимает участие ограниченное число маятников.

Литература

1. Гетманова Е.Е. Образование волн в системе несвязанных линейных осцилляторов // Сборник статей по материалам X111 Международного семинара «Физико-математическое моделирование систем» - Воронеж: Изд. ФГБОУ ВПО «ВГТУ». - 2014. 186с. - С. 54-60.

FEATURE OF ENERGY TRANSFER IN A CHAIN OF UNCOUPLED LINEAR OSCILLATIONS

E.E. Getmanova

Company "DistTutor", Moscow

The time intervals for energy exchange between different pairs of pendulum are determined/ It has been established which oscillators perform energy exchange in different time intervals/ Moving maximum energy associated with pair of pendulum is shown.

Key words Waves in system of unlinked linear oscillators, time interval for energy exchange