

УДК 621.838.216

Экспериментальное исследование механизма свободного хода с направленным включением рабочих тел

В.Н. Филимонов, А.Н. Стариков, С.А. Леонов

Экспериментально подтверждена возможность направленного включения рабочих тел (упругих пластин) механизмов свободного хода. Из результатов опытов следует, что заклинивание упругих пластин происходит в строго определенной последовательности, заложенной при конструировании механизма. Тем самым исключается случайный процесс заклинивания упругих пластин.

Ключевые слова: храповой механизм свободного хода с упругими рабочими телами, направленное заклинивание.

The possibility of directed activation of working bodies (elastic plates) of free run mechanisms has been experimentally confirmed. From experiments it follows that jamming of elastic plates occurs in a strictly determined certain sequence envisaged when designing the gear. Therefore accidental process of jamming of elastic plates is prevented.

Keywords: free-run mechanism with resilient working bodies, directed activation.

Механизмы с однонаправленным действием имеют широкое применение в технике. Их анализу и синтезу посвящено много литературы. Разработка и создание устройств данного класса требует поиска резервов. К таким устройствам относится и храповой механизм.

Схема храпового механизма свободного хода с направленным включением рабочих тел (упругих пластин) представлена на рис. 1. Механизм содержит храповик 2, обойму 4, в которой крепятся оси упругих криволинейных пластин 1, 3, 5, поджимаемых пружинами 6 к храповику. При повороте храповика 2 относительно обоймы 4 против часовой стрелки упругие пластины поочередно вступают в зацепление с зубьями храповика (заклиниваются) и передают крутящий момент от храповика к обойме. Аналогично, при повороте обоймы относительно храповика по часовой стрелке происходит поочередное заклинивание упругих пластин и передача крутящего момента от обоймы к храповику. При повороте храповика относительно обоймы по часовой стрелке (или обоймы относительно храповика против часовой стрелки) упругие пластины проскальзывают по зубьям храповика, крутящий момент не передается, происходит свободный ход механизма.

Первое отличие представленной схемы от классической храповой схемы с упругими элементами заключается в том, что каждая последующая упругая пластина 3 смещена от номинального положения по



ФИЛИМОНОВ
Валерий Николаевич
 кандидат технических наук,
 зав. кафедрой
 «Теоретическая
 и прикладная механика»
 (ВлГУ
 им. А.Г. и Н.Г. Столетовых)



СТАРИКОВ
Альберт Николаевич
 кандидат технических наук,
 ст. преподаватель кафедры
 «Теплогазоснабжение,
 вентиляция и гидравлика»
 (ВлГУ
 им. А.Г. и Н.Г. Столетовых)



ЛЕОНОВ
Сергей Анатольевич
 аспирант кафедры
 «Теоретическая
 и прикладная механика»
 (ВлГУ
 им. А.Г. и Н.Г. Столетовых)

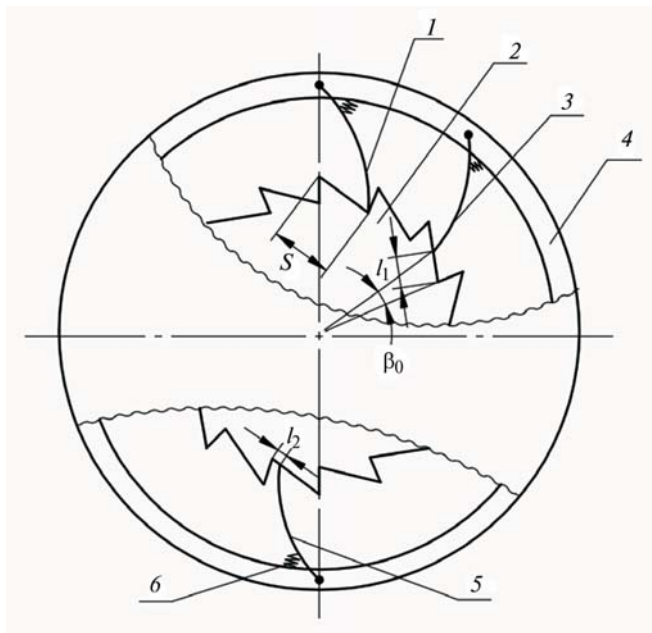


Рис. 1. Схема механизма с направленным включением пластин

храповику относительно предыдущей пластины 1 на некоторую величину l_1 , соответствующую углу поворота β_0 храповика [1]. Третья по счету пластина окажется смещенной относительно первой на $2\beta_0$, n -я пластина — на $(n - 1)\beta_0$. Указанное смещение можно выполнить за счет сдвига осей крепления пластин в обойме 4 от номинального положения при изготовлении механизма. Смещения можно так же добиться за счет изменения длины упругих пластин. В результате случайный характер заклинивания пластин вследствие погрешностей изготовления деталей механизма заменяется направленным включением. За первой включившейся пластиной неизбежно заклинивается соседняя с ней и т. д. Обязательным требованием осуществления направленного включения является условие

$$\beta_0 > k_1 \alpha, \quad (1)$$

где α — угол поворота храпового колеса, соответствующий максимальной приведенной погрешности длины упругой пластины, которая обусловлена погрешностями изготовления деталей механизма (длины хорды самой пластины, смещение храповика относительно обоймы из-за зазоров в подшипниках крепления

этих деталей, погрешности изготовления зубьев храповика и т. д.); k_1 — коэффициент запаса, $k_1 \geq 1$.

При невыполнении условия (1) снова приходим к случайному характеру заклинивания упругих пластин даже при наличии смещения их друг относительно друга.

Второе отличие представленной на рис. 1 схемы от классической храповой схемы с упругими элементами заключается в том, что упругие элементы разбиты на два равных по количеству пластин пакета, смещенных друг относительно друга [2]. Первый пакет включает $n_1/2$ первых по порядку пластин, расположенных справа от осевой линии, второй $n_1/2$ следующих пластин (слева от осевой линии). Второй пакет смещен относительно первого на угол поворота храповика ρ_0 , соответствующий смещению пластины 5 на величину l_2 . Обязательным условием смещения пакетов является

$$l_2 < l_1 (\rho_0 < \beta_0). \quad (2)$$

Процесс заклинивания механизма при заданном смещении пластин в пакетах и пакетов друг относительно друга происходит следующим образом. Допустим, первой включилась первая пластина 1 первого пакета. При дальнейшем повороте храповика против часовой стрелки следующей включится первая пластина второго пакета, находящаяся с противоположной стороны храповика, так как ее конец расположен ближе к впадине своего зуба ($l_2 < l_1$), чем у оставшихся пластин. Затем включается вторая пластина первого пакета и т. д.

Идея направленного включения рабочих тел выдвинута впервые, о чем свидетельствует первая публикация [1] и первый патент [2] в этом направлении. Теоретическая часть процесса заклинивания [3—5] основана на принципе направленного включения рабочих тел. Поэтому необходима экспериментальная проверка принципа направленного включения рабочих тел в храповом механизме свободного хода. Принцип можно проверить экспериментально, фиксируя порядок включения рабочих тел в период заклинивания механизма. Если экспериментальный порядок заклинивания пластин на храповике представляет случайный

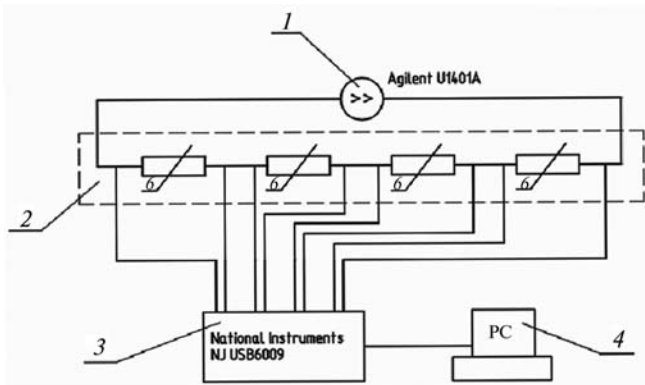


Рис. 2. Схема экспериментального стенда

процесс, то принцип направленного включения не осуществляется. Если же этот процесс имеет направленный характер, заданный заранее, то направленное включение имеет место.

Для достижения поставленной цели был разработан и создан испытательный стенд (рис. 2). Работы проводились на кафедре «Теоретическая и прикладная механика» Владимирского государственного университета. Общий вид стенда представлен на рис. 3

Стенд состоит из прецизионного источника тока I (AgilentU1401A), механизма свободного хода 2, системы тензодатчиков, платы сбора данных 3 и персонального компьютера 4 (см. рис. 2).

Объектом испытаний был экспериментальный образец механизма свободного хода, схема которого представлена на рис. 9. Предметом проверки являлось определение порядка вклю-



Рис. 3. Общий вид экспериментального стенда

чения пластин. Задача сводилась к получению исходных данных, их статистической обработке и визуализации. В результате анализа процесса определялся порядок включения пластин, т. е. возможность реализации прогнозируемого зацепления.

В качестве программного и аппаратного обеспечения использовалось оборудование фирмы National Instruments: пакет программ LabVIEW и плата сбора данных USB-6008, чувствительность которой составляет 12 бит, быстродействие 10 кГц. Это позволило проводить эксперимент с высокими точностными и скоростными параметрами.

В качестве тензодатчиков использовались тензорезисторы марки 2ПК6-10-100ГВ, наклеенные на упругие пластины, которые фиксируют зацепление при передаче момента в одну из сторон. Тензорезисторы расположены на наружных поверхностях упругих пластин, где слой работает на растяжение. Число тензорезисторов соответствует числу упругих пластин (по одному датчику на каждую пластину). Экспериментальный образец содержал два пакета пластин, по две пластины в каждом пакете. Таким образом, для сбора и передачи данных о деформациях в упругих пластинах использовались четыре канала.

Известно, что изменение напряжения на тензорезисторе при его нагружении не превышает 0,2...0,4 % номинального значения. Для повышения чувствительности схемы применяют полумостовые и мостовые схемы (схема Уитстоуна). Схема подключения тензорезистора по полномостовой схеме

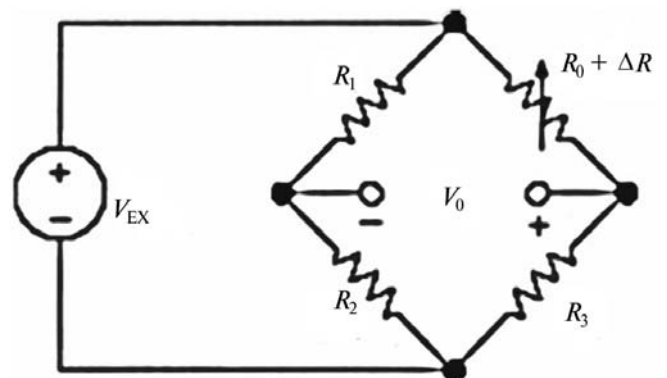


Рис. 4. Схема подключения тензорезистора по полномостовой схеме

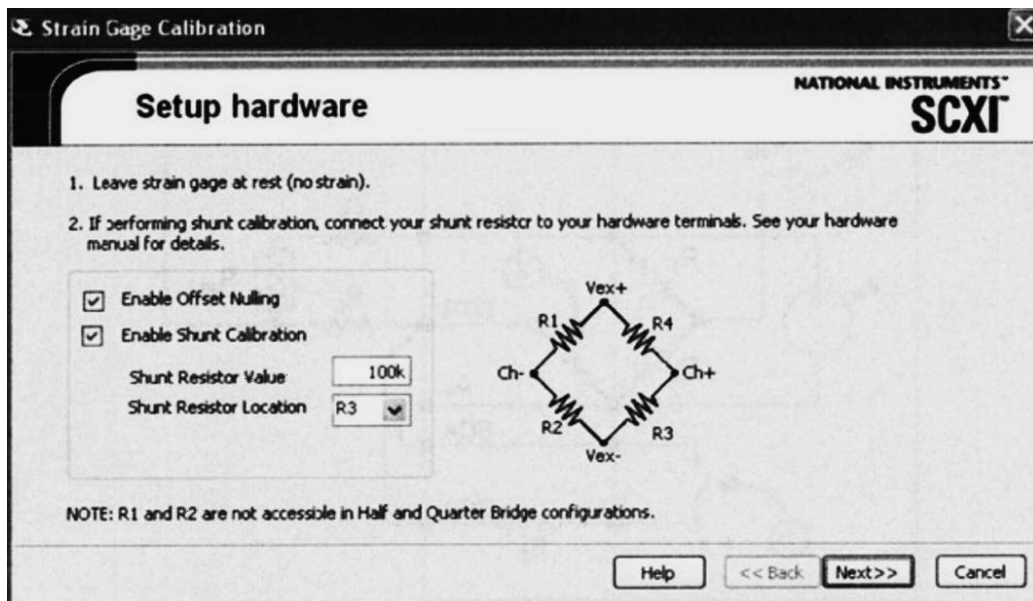


Рис. 5. Программная балансировка моста

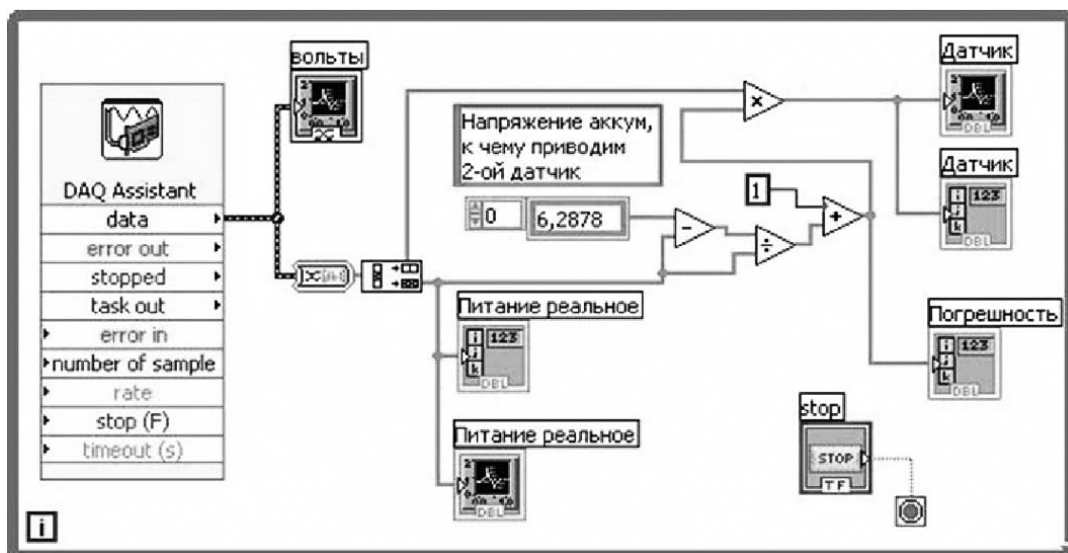


Рис. 6. Фрагмент блок-диаграммы работы платы с корректировкой по температуре

представлена на рис. 4. В данном случае применялась полномостовая модель. Особенностью схемного решения являлась встроенность мостовой части в аппаратную (плата USB-6008). С помощью интерфейса программы LabVIEW на программном уровне осуществлялась балансировка моста (рис. 5).

Важным моментом при проведении эксперимента является учет температурной нестабильности тензосопротивлений. Для решения этого вопроса была разработана специальная подпрограмма, которая учитывала температуру окружающего воздуха и вводила по-

правочный коэффициент в общую схему измерений. Фрагмент блок-диаграммы представлен на рис. 6. Наличие обратной связи позволило существенно повысить объективность получаемой информации.

Стабильность питающего тока обеспечивалась калибратором и составляла 20 мА на каждом из датчиков. Погрешность не превышала 0,001 мА. Элемент лицевой панели прибора по сбору информации представлен на рис. 7. Частота дискретизации составляла 2,5 кГц (10 кГц на четыре канала). Значение сопротивления фиксировалось платой сбора данных и записы-

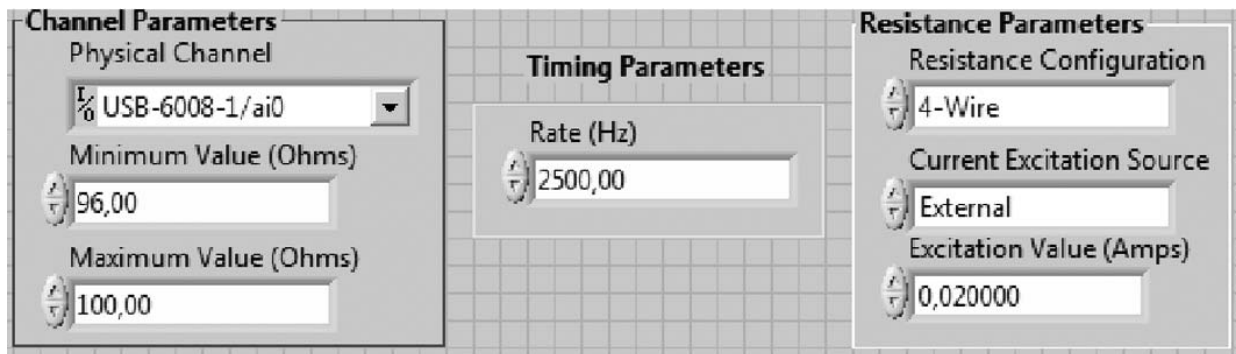


Рис. 7. Интерфейс программы по сбору данных

```

Channels          4
Samples          100    100    100    100
Date             2011/06/03    2011/06/03    2011/06/03    2011/06/03
Time             14:16:56.2133703231811523438    14:16:56.2133703231811523438
14:16:56.2133703231811523438    14:16:56.2133703231811523438
Y_Unit_Label     Ohms    Ohms    Ohms    Ohms
X_Dimension      Time    Time    Time    Time
X0               0.000000000000000000E+0    0.000000000000000000E+0    0.000000000000000000
p.000000000000000000E+0
Delta_X          0.002000    0.002000    0.002000    0.002000
***End_of_Header***
X_Value Dev3/ai0    Dev3/ai1    Dev3/ai2    Dev3/ai3    C
0.000000          91.195035    88.258864    89.291957    88.780387
0.002000          91.348160    88.003626    88.832627    89.035380
0.004000          91.092952    88.258864    89.189884    88.627391
0.006000          91.399201    88.309911    89.189884    88.984381
0.008000          91.195035    88.412006    88.934700    88.780387
0.010000          91.501284    88.258864    89.189884    89.137377
0.012000          91.041910    88.105721    88.730554    88.831386
0.014000          91.348160    88.360959    89.342994    89.137377
0.016000          90.939827    88.412006    88.985737    88.729389
0.018000          91.246076    88.258864    89.138847    89.137377
0.020000          91.195035    88.003626    88.985737    88.576393
    
```

Рис. 8. Фрагмент файла архива данных

валось в архив (рис. 8). Далее полученные значения отдельно обрабатывались. Применялись методы фильтрации, математической статистики.

Устройство для нагружения представляло собой рычаг, к которому крепится муфта. Муфта, в свою очередь, закреплялась на шестерне, составляющей одно целое с храповиком. Наружная обойма механизма свободного хода жестко закреплялась. На определенном расстоянии от оси механизма на рычаге привязывалась чашка, на которую последовательно укладывались грузы (гири). Каждая упругая пластина нумеровалась и ей соответствовал на печати свой столбец данных. Фрагмент файла данных представлен на рис. 8. Крайний левый столбец показывает время в секундах, четыре других — показания, соответственно, в тензодатчике 1–4-й пластины.

Схема расположения пластин в экспериментальном механизме свободного хода показана на рис. 9.

Цифры 1–4 указывают номера, присвоенные пластинам. Первый пакет (пластины 1, 3) смещен относительно второго (пластины 2, 4) на величину $l_2 = 0,0008$ м (0,8 мм). Предположим, что первой включилась пластина 1 первого пакета. Тогда второй при повороте храповика по часовой стрелке должна заклинить пластина 2 второго пакета, так как расстояние от ее конца до впадины зуба составляет 0,0008 м (0,8 мм), что меньше расстояний концов двух оставшихся пластин 3 и 4 (0,0016 м, 0,0024 м) до впадин своих зубьев. Третьей должна заклинить пластина 3, у нее расстояние до впадины своего зуба составляет 0,0016 м, что меньше, чем расстояние у пластины 4. Таким образом, при проектировании заложена следующая последовательность заклинивания пластин 1–4. Если теперь первой включится пластина 2, то

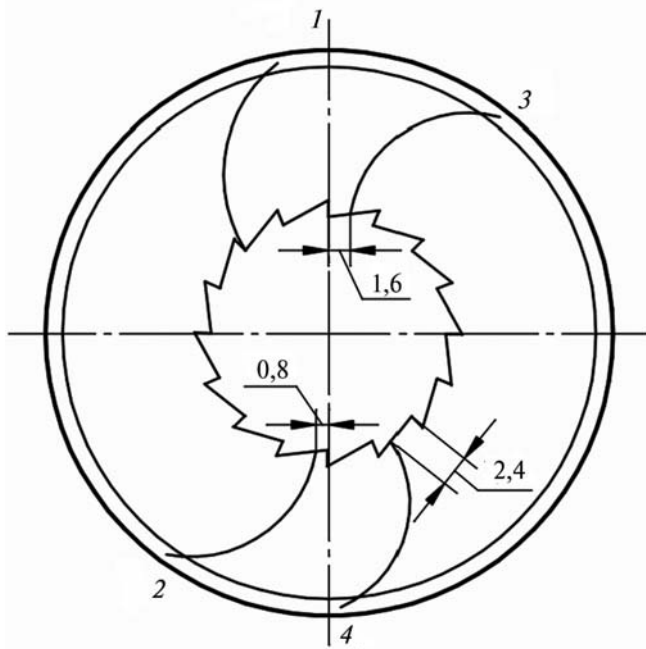


Рис. 9. Схема расположения пластин в экспериментальном механизме

последовательность заклинивания будет 2—3—4—1, если первой включается пластина 3, то последовательность 3—4—1—2. Наконец, при первой заклинившейся пластине 4 последовательность 4—1—2—3, т. е. идет перестанов-

ка в зависимости от того, какая пластина заклинится первой, но обязательно за первой идет вторая, за второй — третья, за третьей — четвертая.

Из представленного описания предполагаемого процесса заклинивания следует, что задача эксперимента сводится к проведению ряда опытов с последовательным нагружением механизма свободного хода и определением порядка заклинивания пластин. Меняя массу груза на рычаге, мы изменяем крутящий момент, передаваемый механизмом свободного хода, изменяем деформацию пластин и, соответственно, изменяем сопротивление тензорезисторов, которое фиксируется испытательным стендом. По показаниям датчиков судим о количестве заклинивающихся пластин и порядке заклинивания. В начале проверяем в каком порядке заклиниваются две пластины. Увеличивая нагрузку, фиксируем порядок заклинивания трех и четырех пластин. При каждом новом опыте рычаг снимается, шестерня с храповиком поворачивается на произвольный угол в направлении свободного хода механизма, чтобы упругие пластины заняли новое положение, и проводится новый замер.

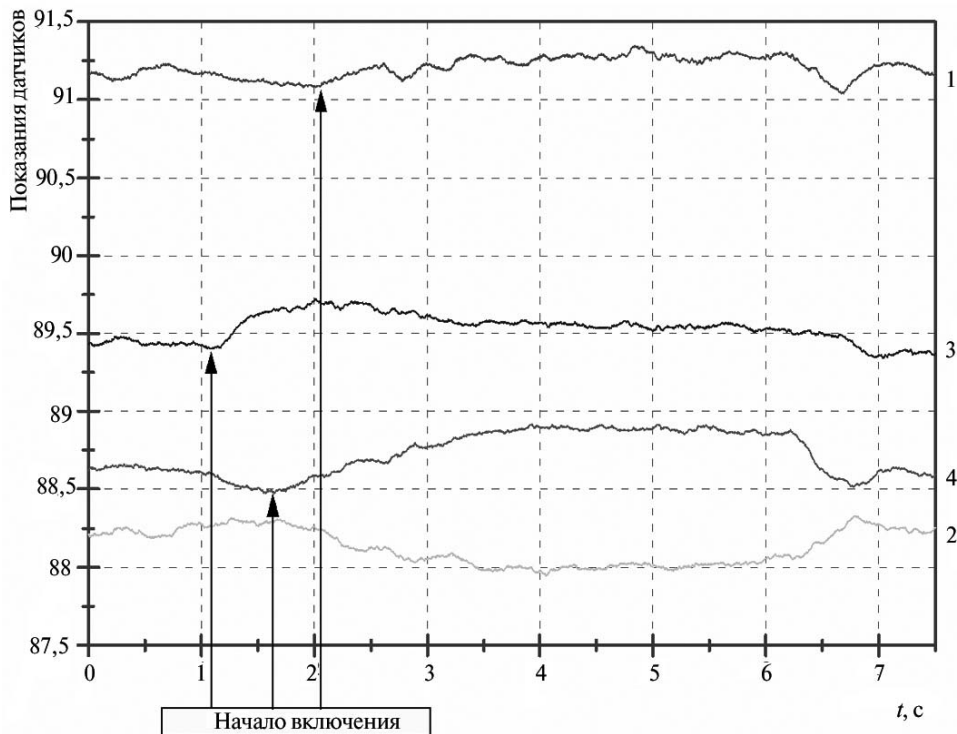


Рис. 10. Фрагмент процесса нагружения

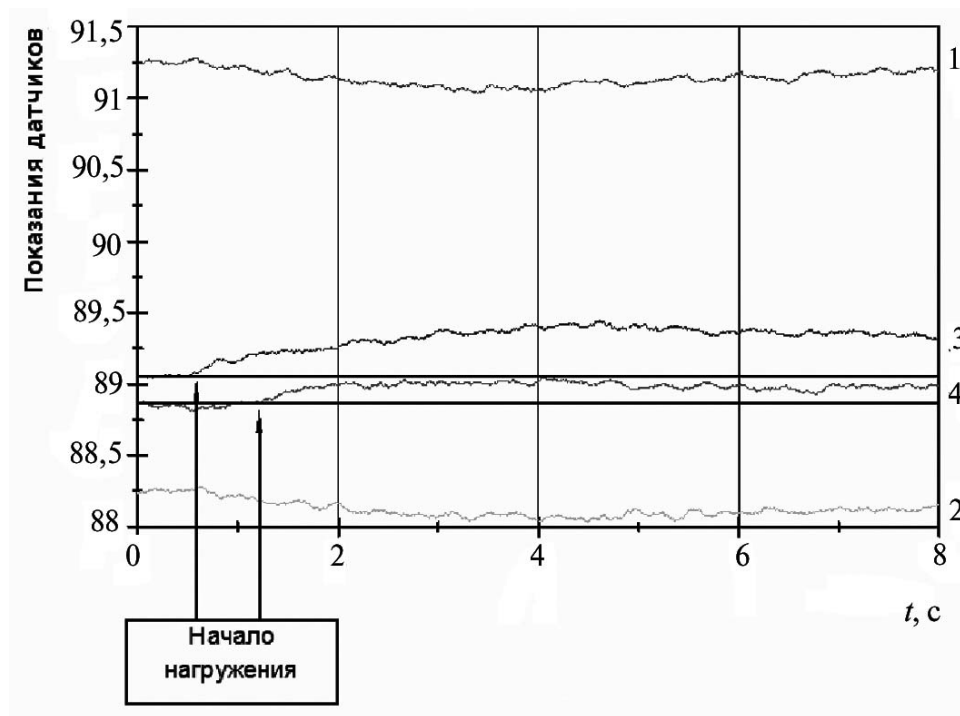


Рис. 11. Фрагмент процесса нагружения

Фрагменты процесса нагружения механизма свободного хода приведены на рис. 10 и 11. Справа указаны номера пластин, которым соответствуют показания датчиков, установленных согласно рис. 9. На рис. 10 первой начинает заклиниваться пластина 3, второй пластина 4, третьей пластина 1, пластина 2 не нагружается, т. е. последовательность включения пластин 3—4—1. На рис. 11 первой заклинивается пластина 3, второй — пластина 4, пластины 1 и 2 не нагружаются. Аналогичные результаты давали другие опыты, с различным количеством пластин, с началом нагрузки по различным пластинам. Всего было проделано 80 опытов. Каких-либо опытов, выходящих за рамки направленного включения не зафиксировано. На рис. 11 нагрузка на пластину 4, заклинившейся второй, примерно в 2 раза меньше нагрузки на пластину 3, заклинившейся первой. Это соответствует теоретическому результату: при заклинивании только двух пластин вторая пла-

стина воспринимает нагрузку в 2 раза меньшую, чем первая.

Результаты эксперимента показывают, что уход от случайного процесса заклинивания рабочих тел с заменой его направленным включением вполне осуществим.

Литература

1. *Леонов С.А., Филимонов В.Н.* О возможности направленного включения рабочих тел в механизме свободного хода // Труды V Международной научно-технической конференции. Современные проблемы машиностроения. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. С. 75—77.
2. Патент № 2422694, Россия: Храповой механизм свободного хода. / С.А. Леонов, А.И. Леонов. Опубликовано в бюл. «Патенты и полезные модели». М., 2011. № 18.
3. *Леонов С.А.* Оптимизация параметров храпового механизма свободного хода с упругими рабочими телами // Изв. вузов. Машиностроение. 2011. № 2. С. 12—16.
4. *Леонов С.А., Леонов А.И.* К выбору параметров храпового механизма свободного хода с направленным включением рабочих тел // Изв. вузов. Машиностроение. 2011. № 4. С. 13—16.
5. *Леонов С.А.* К методике выбора параметров храпового механизма свободного хода // Изв. вузов. Машиностроение. 2011. № 6. С. 26—30.

Статья поступила в редакцию 11.07.2011 г.