

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №2 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-2>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/35TVN216.pdf>

DOI: 10.15862/35TVN216 (<http://dx.doi.org/10.15862/35TVN216>)

Статья опубликована 11.04.2016.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Никишкина А.Б., Астахов М.В. К вопросу проектирования рабочего квазимеханизма управляемой затяжки на основе трехдисковой плоской мгновенно изменяемой системы // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №2 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/35TVN216.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/35TVN216

УДК 531.8

Никишкина Алевтина Борисовна

ГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э Баумана»
Филиал в г. Калуга, Россия, Калуга¹
Ассистент

E-mail: ab_nikishkina@rambler.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=797822

Астахов Михаил Владимирович

ГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э Баумана»
Филиал в г. Калуга, Россия, Калуга

Заведующий кафедрой ФН5-КФ «Прикладная механика»

Профессор кафедры ФН5-КФ «Прикладная механика»

Доктор технических наук

E-mail: mvastahov@gmail.com

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=149460

**К вопросу проектирования рабочего квазимеханизма
управляемой затяжки на основе трехдисковой плоской
мгновенно изменяемой системы**

Аннотация. При проектировании конструкций механизмов актуальным является решение задачи управления их внутренними силами с целью создания адаптивных машин, автоматически подстраивающихся под внезапно возникающую, превышающую расчетную, внешнюю нагрузку.

Кроме того, для предотвращения интенсивного трещинообразования, очень важно не допускать появления циклически меняющихся внутренних сил, соответствующих напряжениям, большим предела выносливости материала звеньев механизмов при установившемся режиме их работы.

Такое влияние на поля внутренних сил в деталях и узлах машин можно осуществить с помощью управляемых затяжек, которые представляют собой систему напрягающих элементов, создающих в напрягаемой конструкции в заданный момент времени внутренние силы, уменьшающие либо полностью компенсирующие внутренние силы от основной внешней нагрузки.

¹ 248000, Россия, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2

Небольшая управляющая сила в элементе затяжки должна быть преобразована в большую управляемую силу, влияющую на напряженно-деформированное состояние основной несущей конструкции.

Структурно управляемые затяжки, построенные на основе почти мгновенно изменяемых систем, можно трактовать как квазимеханизмы, движение контрольных точек которых, происходит за счет упругой деформации звеньев по определенным, заданным при проектировании законам.

Работа посвящена исследованию напряженного состояния трехдисковой плоской почти мгновенно изменяемой системы с целью ее использования в управляемых затяжках. Рассмотрено изменение сил, возникающих в стержнях данной системы, в зависимости от управляющего момента силы и углов наклона каждого стержня. По результатам расчетов построены графики изменения внутренних сил в стержнях почти мгновенно изменяемой системы и даны рекомендации о конструктивных границах ее применения в проектировании силовых конструкций.

Ключевые слова: механизм; квазимеханизм; адаптивная машина; управляемая затяжка; почти мгновенно изменяемая система; управляемая сила; управляющая сила; стержень; диск; конструкция; массивы решений

Создание адаптивных машин, «подстраивающихся» под внезапно возникающую нерасчетную внешнюю нагрузку, превышающую заданную при проектировании, является актуальной задачей, решение которой позволит уменьшить количество аварий и катастроф, в частности, и некоторых, связанных с человеческим фактором.

Кроме того, адаптивность машины дает возможность менять ее напряженно-деформированное состояние (НДС) не только в экстремальных случаях, но и при установившемся режиме работы с целью недопущения превышения рабочими напряжениями в наиболее опасных зонах конструкций предела выносливости материала, из которого они изготовлены, а значит увеличивать ресурс.

Одним из возможных вариантов управления внутренними силами при конструировании таких машин и их механизмов является применение управляемых затяжек, теория которых разработана в [1]. Там же сформулировано определение управляемой затяжки: «Управляемой затяжкой можно назвать напрягающий элемент или систему элементов, создающих в напрягаемой конструкции в заданный момент времени внутренние силы, уменьшающие либо полностью компенсирующие внутренние силы от основной внешней нагрузки».

Широко известны методы создания предварительного напряжения в металлоконструкциях с помощью неуправляемых затяжек [2]. Их можно трактовать как систему напрягающих элементов, которые постоянно (даже если внешняя нагрузка отсутствует) создают в напрягаемой конструкции предварительные внутренние силы, которые должны уменьшать внутренние силы от появляющейся основной внешней нагрузки. Большое число систем с такими затяжками описано в [3], [4], [5]. Но в [1] доказано, что увеличение ресурса напрягаемой системы с применением неуправляемых затяжек не происходит.

Управление НДС деталей, узлов и агрегатов, работающих под нагрузкой, циклически меняющейся во времени, с помощью затяжек, предполагает использование либо внешних энергетических источников (например [6], [7]), либо использующих энергию упругого деформирования основной конструкции [8].

В обоих случаях, на основе небольшой сосредоточенной управляющей силы F , приходящей на входной элемент затяжки, на выходном элементе возникает большая управляемая сила, влияющая на НДС конструкции машины.

Такую управляемую силу можно получить путем применения в управляемых затяжках мгновенно изменяемых систем, в частности, плоских двухдисковых и трехдисковых [9], незначительно изменяя их структуру.

В [10] проводился анализ напряженного состояния плоской трехдисковой шестистержневой почти мгновенно изменяемой системы, находящейся под воздействием управляющей, переменной во времени, силы F (рис. 1) в случае отклонения одного из стержней на угол α от своего первоначального положения, при котором рассматриваемая система являлась мгновенно изменяемой.

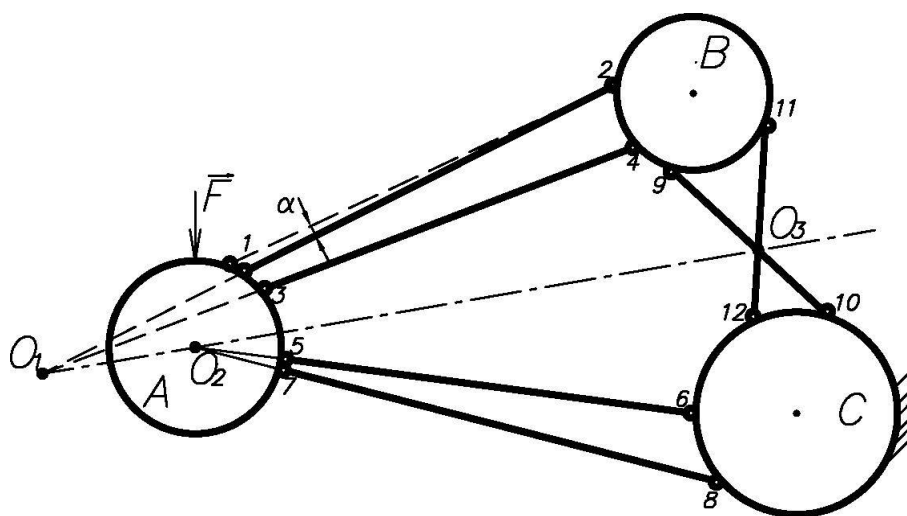


Рисунок 1. Плоская мгновенно изменяемая система

Был сделан вывод, что для применения предложенной почти мгновенно изменяемой системы в управляемых затяжках наиболее рациональным можно считать изменение угла α в пределах ($3^\circ \div 5^\circ$), при котором продольная сила в стержнях 1-2 и 11-12 становится на порядок больше силы F .

Такую систему можно назвать квазимеханизмом, так как при очень небольших заданных перемещениях, связанных с деформацией ее элементов, в последних возникают внутренние силы, меняющиеся по определенным, заданным при проектировании, законам.

Создание управляющей переменной силы F при работе машины, несмотря на кажущуюся простоту, представляет собой достаточно сложную конструкторскую задачу [11].

Более просто в работающей машине, в которой практически всегда присутствуют вращающиеся детали, создать небольшой дополнительный крутящий момент $M_{кр}$ за счет снятия с помощью зубчатой, фрикционной передач или тормозных колодок части основного момента с вала или маховика. Тогда $M_{кр}$ станет управляющим моментом, который с помощью дополнительного вала можно подвести к управляемой затяжке, созданной на основе мгновенно изменяемой системы (рис. 2), являющейся модификацией классической мгновенно изменяемой системы (рис. 1).

Предлагаемая авторами мгновенно изменяемая система представляет собой три, соединенные стержнями 1-2, 3-4, 5-6, 7-8, 9-10, 11-12, абсолютно жестких диска A, B, C , вложенных друг в друга, мгновенные центры вращения которых O_1, O_2, O_3 лежат на одной

прямой. Если немного изменить некоторые углы между стержнями и предполагать в дальнейшем деформирование материала, мгновенно изменяемая система станет почти мгновенно изменяемой, а значит квазимеханизмом.

Для анализа рассмотрен частный случай, когда мгновенные центры вращения O_1 и O_3 (рис. 2) совмещены в один мгновенный центр вращения O (рис. 3), а опора на диске A заменена реактивным моментом M_3 .

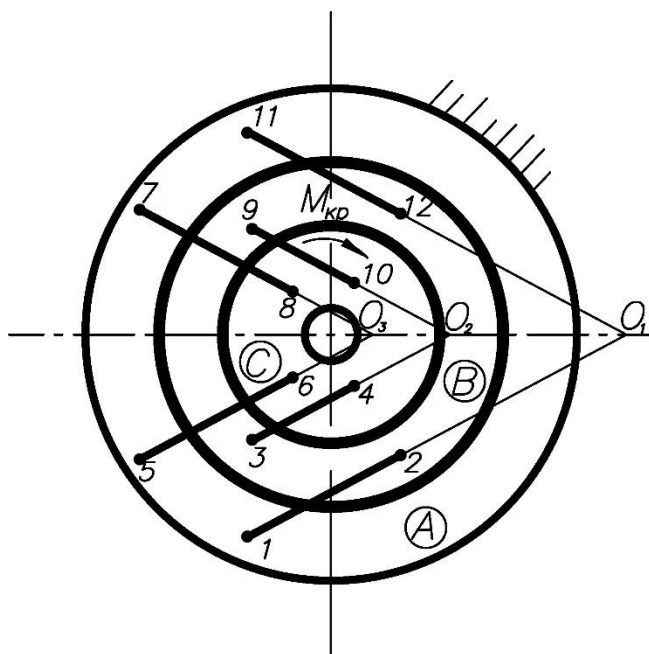


Рисунок 2. Плоская мгновенно изменяемая система (диск A связан с неподвижной опорой)

Чтобы уйти от мгновенной изменяемости, стержень (7-8) отклонен на малый угол α в положение (7'-8) и соединен цилиндрическим шарниром в точке 7' с диском A .

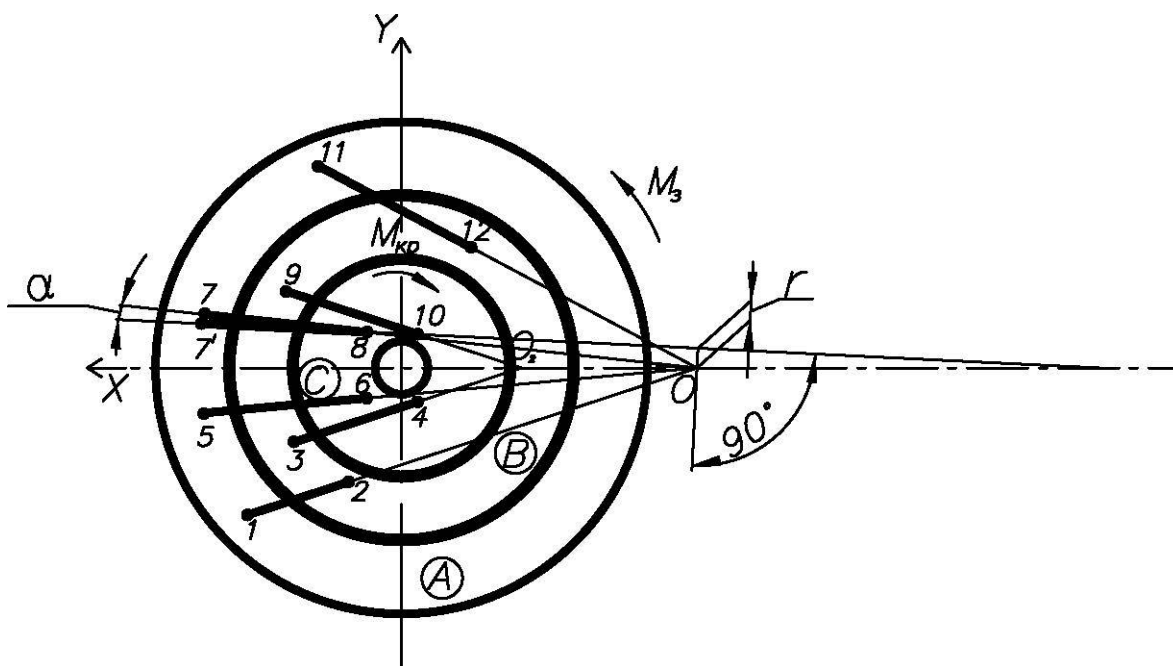


Рисунок 3. Схема для анализа

Исследовано изменение сил $N_{1-2}, N_{3-4}, N_{5-6}, N_{7-8}, N_{9-10}, N_{11-12}$, возникающих в стержнях, в зависимости от роста угла α при условии, что $M_{кр}$ известен.

Очевидно, что по величине $M_3 = M_{кр}$.

Рассмотрено равновесие диска A при условии, что стержни 1-2, 5-6, 7'-8 и 11-12 отделены сечением $I-I$ (рис. 4) от дисков B и C .

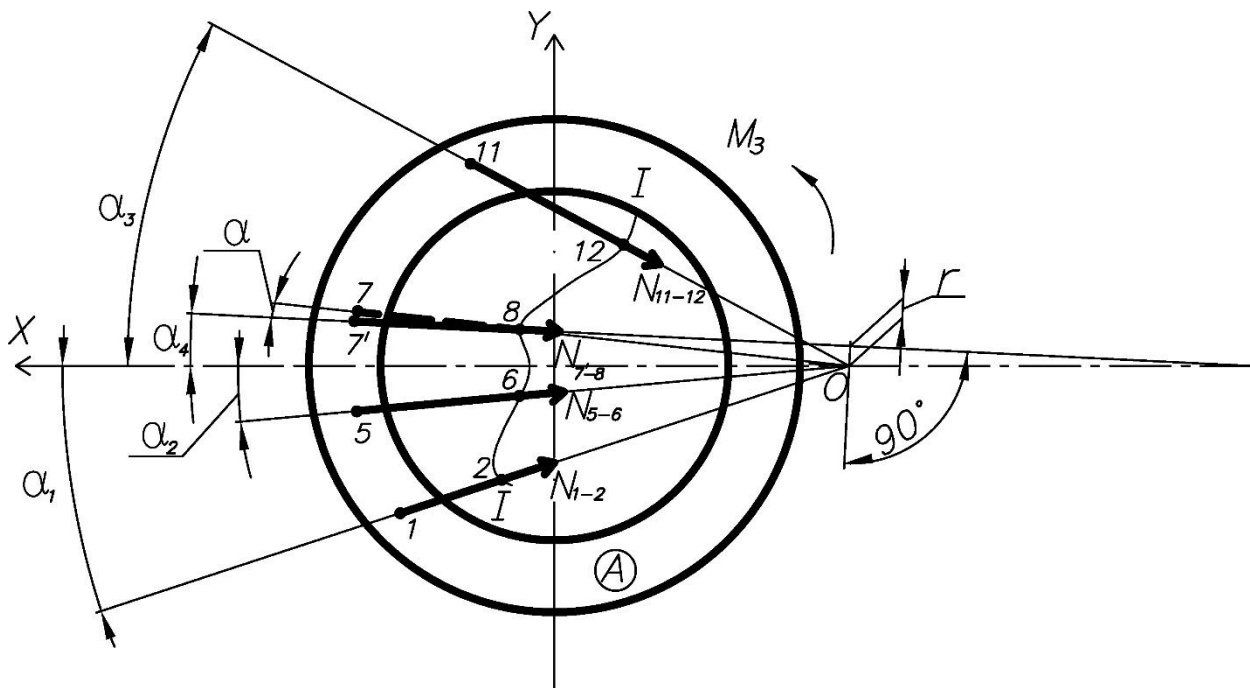


Рисунок 4. Диск A

Тогда можно записать, что $\Sigma M_O = 0$.

Или: $M_3 - N_{7-8} \cdot r = 0 \rightarrow$,

$$N_{7-8} = \frac{M_3}{L_{8-0} \cdot \sin \alpha}. \quad (1)$$

Далее рассмотрено равновесие диска C (внутреннее кольцо) (рис. 5), отделенного от системы (рис. 3) сечением $II-II$.

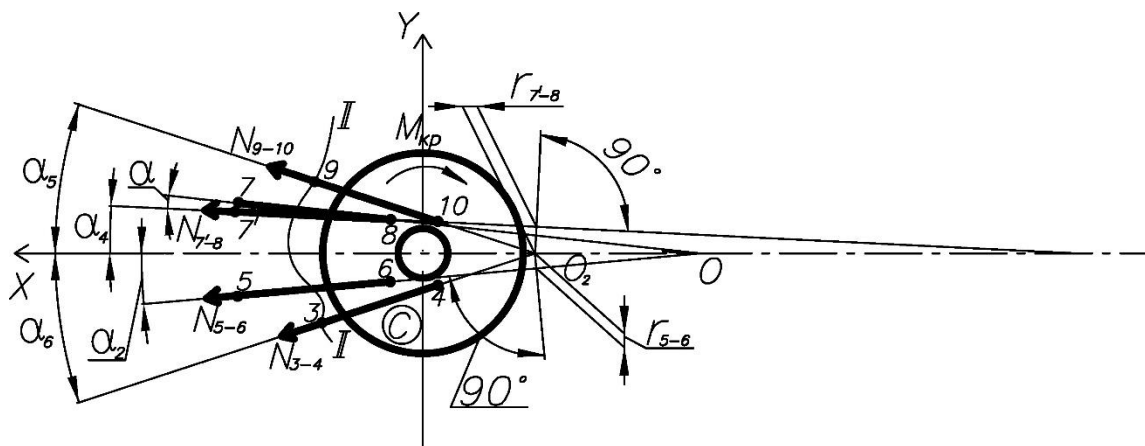


Рисунок 5. Диск C

В этом случае: $\Sigma M_{O_2} = 0$.

Или $-M_{кр} + N_{7'-8} \cdot r_{7'-8} - N_{5-6} \cdot r_{5-6} = 0 \rightarrow$

$$N_{5-6} = \frac{M_{кр} - N_{7'-8} \cdot r_{7'-8}}{r_{5-6}} \quad (2)$$

На основе уравнений статики $\Sigma X = 0, \Sigma Y = 0$ для системы (рис.3) построены уравнения (3)

$$\left. \begin{aligned} N_{5-6} \cdot \cos \alpha_2 + N_{7'-8} \cdot \cos \alpha_4 + N_{9-10} \cdot \cos \alpha_5 + N_{3-4} \cdot \cos \alpha_6 &= 0, \\ -N_{5-6} \cdot \sin \alpha_2 + N_{7'-8} \cdot \sin \alpha_4 + N_{9-10} \cdot \sin \alpha_5 - N_{3-4} \cdot \sin \alpha_6 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

После определения из (1-3) $N_{7'-8}, N_{5-6}, N_{3-4}$ и N_{9-10} , можно найти N_{11-12}, N_{1-2} , на основе системы уравнений $\Sigma X = 0, \Sigma Y = 0$ (4) для диска A (рис. 4):

$$\left. \begin{aligned} -N_{11-12} \cdot \cos \alpha_3 - N_{7'-8} \cdot \cos \alpha_4 - N_{5-6} \cdot \cos \alpha_2 - N_{1-2} \cdot \cos \alpha_1 &= 0, \\ -N_{11-12} \cdot \sin \alpha_3 - N_{7'-8} \cdot \sin \alpha_4 + N_{5-6} \cdot \sin \alpha_2 + N_{1-2} \cdot \sin \alpha_1 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Для проверки правильности решений из условия равновесия диска B при отброшенных дисках A и C составлены уравнения $\Sigma X = 0, \Sigma Y = 0$ (5)

$$\left. \begin{aligned} -N_{9-10} \cdot \cos \alpha_5 + N_{11-12} \cdot \cos \alpha_3 + N_{1-2} \cdot \cos \alpha_1 - N_{3-4} \cdot \cos \alpha_6 &= 0, \\ -N_{9-10} \cdot \sin \alpha_5 + N_{11-12} \cdot \sin \alpha_3 - N_{1-2} \cdot \sin \alpha_1 + N_{3-4} \cdot \sin \alpha_6 &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

которые, после подстановки полученных значений внутренних сил в стержнях, должны превращаться в тождества.

Далее на основе выражений (1-5) вычисления выполнены на ПЭВМ в системе MatLab с помощью созданных авторами программ, в результате чего построены трехмерные графики $N_{i-j} = f(\alpha_k, \alpha)$ при $M_{кр} = 50 \text{ Н} \cdot \text{м}$, когда каждый из стержней отклоняется на угол от 5° до 80° (i, j - номера цилиндрических шарниров, k - номер угла). Некоторые из этих графиков показаны на рис. 6.

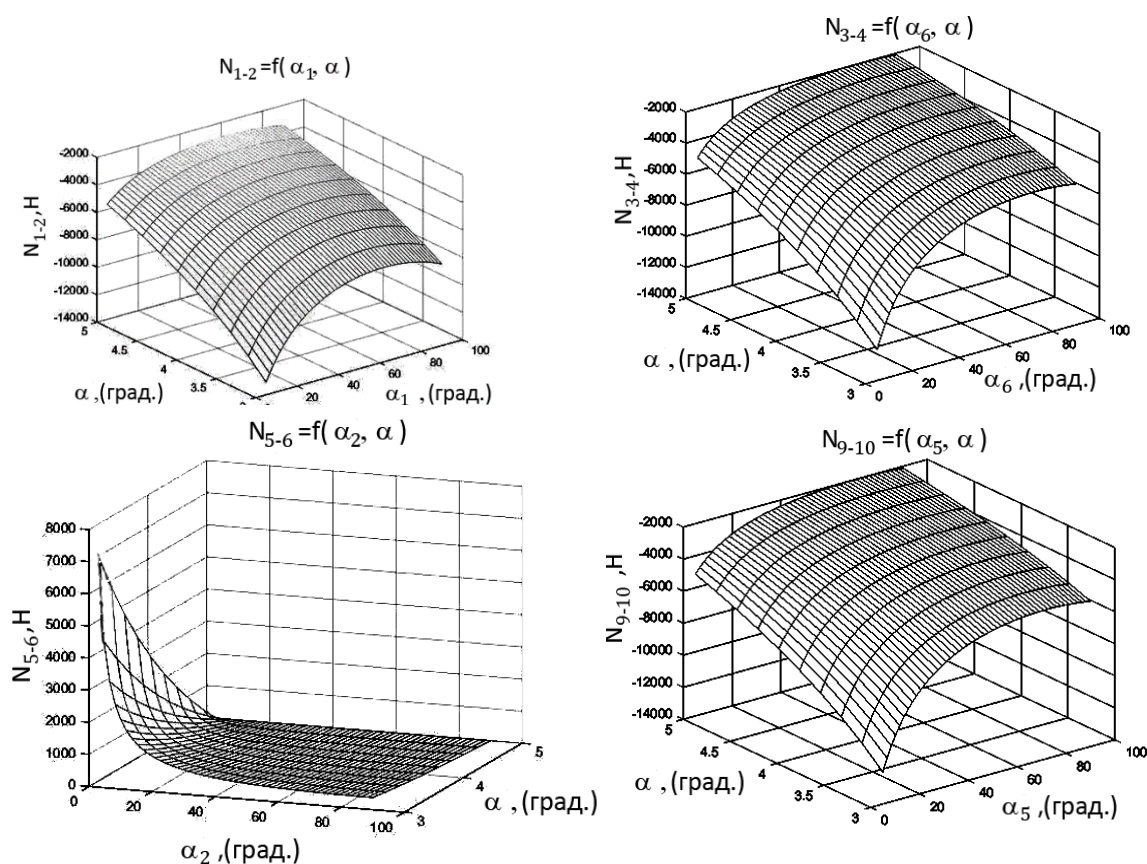


Рисунок 6. $N_{i-j} = f(\alpha_k, \alpha)$

Из анализа графиков зависимости внутренних сил от угла наклона стержня 7'-8 (α) и углов наклона остальных стержней α_k , сделан вывод, что с увеличением α , внутренние силы в остальных стержнях резко уменьшаются, причем стержень 5-6 растянут, а стержни 1-2, 3-4, 9-10, 11-12 сжаты.

Далее проанализировано, при какой комбинации углов, усилие в каждом стержне будет максимальным при постоянном крутящем моменте $M_{кр} = 50 \text{ Н}\cdot\text{м}$ и фиксированном угле наклона стержня 7'-8. Для этого углы наклона остальных стержней одновременно пошагово менялись от 3° до 80° градусов.

Алгоритм исследования был сформулирован следующим образом: задавались функции шести переменных; каждая функция менялась в диапазоне от 3° до 80° градусов с определенным интервалом; для оптимизации вычислений создавались семимерные массивы, в которых должны были записываться решения; на основе выражений (1, 2) решались системы алгебраических уравнений (3, 4, 5) для каждой комбинации углов; в итоге полученные 10 миллионов комбинаций записывались в массивы ответов решений.

Для нахождения шести нужных решений, при которых сила в каждом из стержней должна быть максимальной, авторами создана еще одна программа в MatLab, с помощью которой было определено для каких комбинаций углов получают наибольшие силы в каждом стержне.

Максимальное значение силы наблюдалось в стержне 11-12 ($N_{11-12} = 113 \text{ кН}$) при следующей комбинации углов и геометрических параметров проектируемой системы:

$\alpha_3 = 80^\circ$; $\alpha_4 = 11^\circ$; α_5 -любой; $\alpha_2 = 3^\circ$; α_6 -любой; $\alpha_1 = 80^\circ$; $\alpha = 3^\circ$, $L_{8-o} [м] = 0,088$,
 $L_{o,o} [м] = 0,047$, $L_{o,o} [м] = 0,078$ (рис. 7).

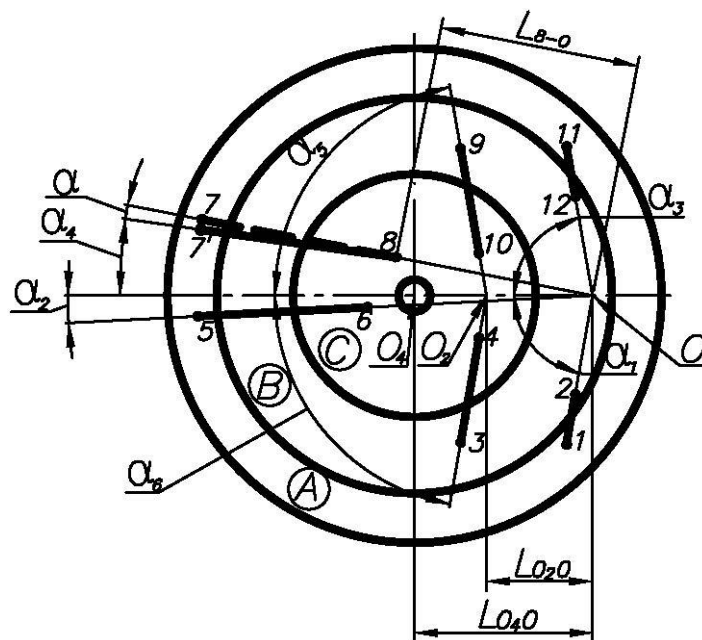


Рисунок 7. Рассчитанная почти мгновенно изменяемая система

Значения внутренних сил во всех стержнях рассчитанной почти мгновенно изменяемой системы (рис. 7) представлены в таблице (табл. 1).

Таблица 1

Значения внутренних сил в стержнях рассматриваемой почти мгновенно изменяемой системы

α ,град N_{i-j}	3	4	5	6	7	8	9	10
N_{1-2}	$1,13 \cdot 10^5$	$7,78 \cdot 10^4$	$5,61 \cdot 10^4$	$4,16 \cdot 10^4$	$3,13 \cdot 10^4$	$2,34 \cdot 10^4$	$1,74 \cdot 10^4$	$1,25 \cdot 10^4$
N_{3-4}	$1,13 \cdot 10^5$	$7,78 \cdot 10^4$	$5,61 \cdot 10^4$	$4,16 \cdot 10^4$	$3,13 \cdot 10^4$	$2,34 \cdot 10^4$	$1,74 \cdot 10^4$	$1,25 \cdot 10^4$
N_{5-6}	$-2,8 \cdot 10^4$	$-1,8 \cdot 10^4$	$-1,3 \cdot 10^4$	$-9,05 \cdot 10^3$	$-6,2 \cdot 10^3$	$-4,1 \cdot 10^3$	$-2,4 \cdot 10^3$	$-1,1 \cdot 10^3$
N_{7-8}	$-1,1 \cdot 10^4$	$-8,1 \cdot 10^3$	$-6,5 \cdot 10^3$	$-5,4 \cdot 10^3$	$-4,7 \cdot 10^3$	$-4,1 \cdot 10^3$	$-3,6 \cdot 10^3$	$-3,3 \cdot 10^3$
N_{9-10}	$1,13 \cdot 10^5$	$7,78 \cdot 10^4$	$5,61 \cdot 10^4$	$4,16 \cdot 10^4$	$3,13 \cdot 10^4$	$2,34 \cdot 10^4$	$1,74 \cdot 10^4$	$1,25 \cdot 10^4$
N_{11-12}	$1,13 \cdot 10^5$	$7,78 \cdot 10^4$	$5,61 \cdot 10^4$	$4,16 \cdot 10^4$	$3,13 \cdot 10^4$	$2,34 \cdot 10^4$	$1,74 \cdot 10^4$	$1,25 \cdot 10^4$

Путем исследования влияния угла α_3 наклона стержня 11-12 (рис. 7) на величину N_{11-12} при изменении угла α наклона стержня 7'-8 в интервале $3^\circ - 10^\circ$, построены графики зависимости $N_{11-12} = f(\alpha)$ для трех значений угла α_3 .

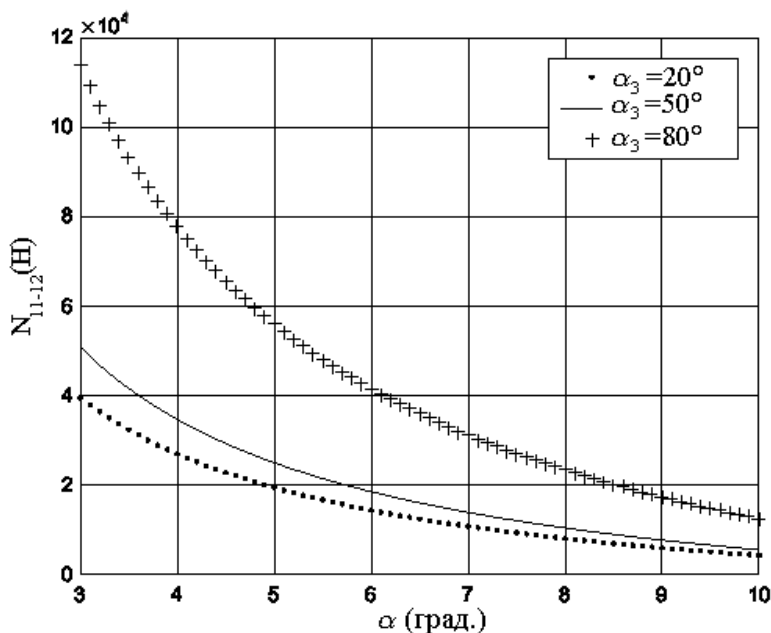


Рисунок 8. $N_{11-12} = f(\alpha)$

Было замечено, что изменение угла α для стержня 7'-8 достаточно сильно влияло на величину N_{11-12} (рис. 8), поэтому рекомендуемый угол α должен быть в интервале $3^\circ - 6^\circ$, при этом, чем больше угол α_3 , тем больше внутренняя сила N_{11-12} .

Выводы: Для системы (рис. 3) наиболее рациональным является вариант расположения стержней, показанный на рис.7, когда, например, при малом крутящем моменте $M_{кр} = 50$ Нм в стержне 11-12 возникает растягивающая сила 113 кН. Угол отклонения стержня 7'-8 от первоначального может меняться в достаточно широких пределах в зависимости от величины силы, которую необходимо получить на стержне 11-12. Соответствующим образом меняя угол α при постоянном крутящемся моменте $M_{кр}$ можно управлять силой N_{11-12} .

Другой путь изменения N_{11-12} - управление крутящим моментом $M_{кр}$, снимаемого с вала машины.

Передавая через вспомогательные звенья силу N_{11-12} в требуемые для разгрузки зоны основной конструкции, можно управлять ее напряженно-деформированным состоянием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астахов М.В. Управление проектированием: монография. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 360 с.
2. Беленя Е.И. Предварительно-напряженные несущие металлические конструкции. 2-е изд. – М.: 1975. – 560 с.
3. Brubaker E.H., Dennison T.D. Use of the Battelle Drop Weight Tear Test for Determining Notch Toughness of Line Pipe Steel // Mechanical Working of steel III, Proc. Am. Inst. of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineering. Conf. – Pittsburg, Tan, 1965 – P. 132.
4. Magnel G. Prestressed steel structures. – Struct. Engrg, 1971. – P. 125
5. Bierett G. Berechnung und Gestaltung der Kranbahnen. – Stahl und Eisen, 1966, 86, – P. 212.
6. А.с. 1217700 СССР, МКИ В60 Р3/22. Автоцистерна/ М.В. Астахов, Ю.М. Макутонин, И.И. Станиславчук (СССР). - № 3804926/27-11; Заявлено 23.10.84; Опубл. 15.11.85, Бюл. №10. – 3 с.: ил.
7. А.с. 1475843 СССР, МКИ В60 Р1/28, В62 Д 21/00. Подъемная платформа самосвального транспортного средства/ М.В. Астахов, В.В. Дикарев (СССР). - № 4270894/30-11; Заявлено 27.04.87; Опубл. 30.04.89, Бюл. №16. – 3с.: ил.
8. Астахов М.В., Тюрин Е.А. Снижение материалоемкости и повышение ресурса машин с помощью управляемых затяжек // Тракторы и сельскохозяйственные машины – 2007. – №6. – С. 48-49.
9. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. – М.: Высшая школа, 1986. – 310 с.
10. Астахов М.В., Никишкина А.Б. Исследование напряженно – деформированного состояния (НДС) трехдисковой плоской почти мгновенно изменяемой системы // Наука и образование. – 2012. - №3 / [Электронный ресурс]. - Режим доступа: URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/315859.html>.
11. Астахов М.В. Применение тонкостенных конструкций в сельхозмашиностроении // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – №7. – С. 25-27.

Nikishkina Alevtina Borisovna

Moscow State Technical University named after N.E. Bauman
Kaluga branch, Russia, Kaluga
E-mail: ab_nikishkina@rambler.ru

Astakhov Mikhail Vladimirovich

Moscow State Technical University named after N.E. Bauman
Kaluga branch, Russia, Kaluga
E-mail: mvastahov@gmail.com

To a question of the working quasi-machinery design of the controlled tightening on the basis of three-disk flat instantly changeable system

Abstract. When designing machinery constructions it is quite relevant to solve a task related with the management of their internal forces in order to create adaptive machines which are automatically to be adjusted to sudden, loading exceeding settled, external one.

Besides in order to prevent intensive crack formation, it is very important not to allow emergence of cyclically changing internal forces, in accordance with tension, higher limit of fatigue behaviour of material of mechanisms links at the mode set for their work.

Such influence on fields of internal forces in details and boxes can be carried out by means of the controlled tightenings which represent a system of the straining elements creating in the strained construction at the defined timepoint internal forces which reduce, or completely compensate internal forces against the main external loading.

The slight controlling force in the element of a tightening has to be transformed to the high controlled force influencing stressedly-deformed state of the main bearing structure.

Structurally controlled tightenings, constructed on a basis of almost instantly changing systems, can be treated as quasi - machinery ,which movement of control points happens due to elastic deformation of links under the laws defined, at a design phase.

The work is dedicated to a study of the stressedly-strain state of tree-disks flat almost instantly adjustable system aiming to its application in controlled tightening. The change in the forces generated in the rods of this system is analyzed, depending on the operating moment of force and tilt angle of each rod. According to the results of calculation diagrams of change of internal forces in rods of almost instantly changeable system are made up and recommendations of constructive limits of its application in design of load bearing structures are given as well.

Keywords: mechanism; quasi-machinery; adaptive machinery; controlled tightening; almost instantly changeable system; controlled force; controlling force; rod; disk; construction; arrays of solutions

REFERENCES

1. Astakhov M.V. Upravlenie proektirovaniem: monografiya. – M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2011. – 360 s.
2. Belenya E.I. Predvaritel'no-napryazhennyye nesushchie metallicheskie konstruksii. 2-e izd. – M.: 1975. – 560 s.
3. Brubaker E.H., Dennison T.D. Use of the Battelle Drop Weight Tear Test for Determining Notch Toughness of Line Pipe Steel // Mechanical Working of steel III, Proc. Am. Inst. of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineering. Conf. – Pittsburg, Tan, 1965 – P. 132.
4. Magnel G. Prestressed steel structures. – Struct. Engrg, 1971. – P. 125
5. Bierett G. Berechnung und Gestaltung der Kranbahnen. – Stahl und Eisen, 1966, 86, – P. 212.
6. A.s. 1217700 SSSR, MKI V60 R3/22. Avtotsisterna/ M.V. Astakhov, Yu.M. Makutonin, I.I. Stanislavchuk (SSSR). - № 3804926/27-11; Zayavleno 23.10.84; Opubl. 15.11.85, Byul. №10. – 3 s.: il.
7. A.s. 1475843SSSR, MKI V60 R1/28, V62 D 21/00. Pod"emnaya platforma samosval'nogo transportnogo sredstva/ M.V. Astakhov, V.V. Dikarev (SSSR). - № 4270894/30-11; Zayavleno 27.04.87; Opubl. 30.04.89, Byul. №16. – 3s.: il.
8. Astakhov M.V., Tyurin E.A. Snizhenie materialoemkosti i povyshenie resursa mashin s pomoshch'yu upravlyaemykh zatyazhek // Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny – 2007. – №6. – S. 48-49.
9. Darkov A.V., Shaposhnikov N.N. Stroitel'naya mekhanika. – M.: Vysshaya shkola, 1986. – 310 s.
10. Astakhov M.V., Nikishkina A.B. Issledovanie napryazhenno – deformirovannogo sostoyaniya (NDS) trekhdiskovoy ploskoy pochty mgnovenno izmenyaemoy sistemy // Nauka i obrazovanie. – 2012. - №3 / [Elektronnyy resurs]. - Rezhim dostupa: URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/315859.html>.
11. Astakhov M.V. Primenenie tonkostennykh konstruksiy v sel'khoz mashinostroenii // Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny. – 2003. – №7. – S. 25-27.