

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Научно-исследовательский центр
«МашиноСтроение»**



Орловский государственный аграрный университет

Рыбинский государственный авиационный технический университет
им. П.А. Соловьева

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Кыргызский национальный университет им. Жусупа Баласагына

ISSN 2618-6810

МАШИНОСТРОЕНИЕ: ИННОВАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ

**Материалы международной
научно-практической конференции**

№6

Санкт-Петербург, 2023

УДК 62 : 001.8895

ББК 34.41

М38

М38 **Машиностроение: инновационные аспекты развития:**
Материалы международной научно-практической конференции.
– Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2023. – № 6. – 94 с. – DOI:
10.26160/2618-6810-2023-6.

Представлены материалы VI международной научно-практической конференции «Машиностроение: инновационные аспекты развития» (18 апреля 2023г.). Направления работы конференции: 1) Машиноведение; 2) Тяжелое машиностроение; 3) Общее машиностроение; 4) Среднее машиностроение; 5) Точное машиностроение; 6) Ремонт машин и оборудования; 7) Смежные вопросы развития машиностроения; 8) Современные проблемы инженерного образования.

Материалы могут быть полезными для научных и инженерно-технических работников, докторантов, аспирантов и студентов, занятых исследованием машин и механизмов различного технологического назначения.

Учредитель: *Жукова Елена Валерьевна.*

Ответственный редактор:

Жуков Иван Алексеевич – директор НИЦ «МашиноСтроение», заведующий кафедрой машиностроения Санкт-Петербургского горного университета, д.т.н., доцент.

Редакционная коллегия:

Малинин Владислав Георгиевич – профессор кафедры инженерной графики и механики Орловского ГАУ, д.ф.-м.н., профессор;

Надеждин Игорь Валентинович – заведующий кафедрой прикладной механики РГАТУ им. П.А. Соловьева, д.т.н., профессор;

Палочкин Сергей Владимирович – профессор кафедры основ конструирования машин МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н., профессор;

Каракеев Таалайбек Тултемирович – профессор кафедры информационных технологий и программирования КНУ, д.ф.-м.н., профессор.

Электронная версия доступна на сайте: <http://srcms.ru/miar.html>
<https://doi.org/10.26160/2618-6810-2023-6>

ISSN 2618-6810

© Авторы, 2023
© НИЦ МС, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Машиноведение

Бохонский А.И., Рыжков А.И. Алгоритмы конструирования управляемых оптимальных движений объектов.....	5
Садиева А.Э., Душенова М.А., Кокколова У.У. Методика синтеза механизмов с линейными приводами.....	9
Садиева А.Э., Кокколова У.У., Душенова М.А. Синтез трехзвенных и пятизвенных кулачковых механизмов.....	13
Муницын А.И., Наим М.М. Динамика тела на вибрирующем основании с учетом трения покоя.....	16

Тяжелое машиностроение

Мележик Р.С., Власенко Д.А. Исследование динамики четырехвалковой дробилки с помощью конечно-элементного метода.....	20
Зедгенизов В.Г., Сенотрусова Т.А. Методика расчета ударного механизма для разрушения прочных строительных материалов с повышенной энергией удара.....	24
Теплякова А.В., Матвеева С.А., Жуков И.А. Ретроспектива исследований, посвященных созданию адаптивных бурильных машин	27

Общее машиностроение

Добрецов Р.Ю., Войнаш С.А., Ерыгин В.В., Соколова В.А., Кривоногова А.С. Управляемый механизм распределения мощности для трансмиссии активного прицепа-ропуска	30
Балобанов Н.А., Дементьев В.Б., Макаров С.С. Автоматизированный комплекс термомеханической калибровки винтовым обжатием	34
Хадеев Р.Г. Гибридный автомобиль	37
Катин В.Д., Журавлев А.А. Практические рекомендации по подбору рациональных конструкций воздухоподогревателей для нефтезаводских печей.....	42
Катин В.Д., Журавлев А.А. Авторские запатентованные конструкции групповых циклонов-золоуловителей для угольных предприятий железнодорожного транспорта.....	45
Соловьев И.В., Михайлов А.В. Анализ выбора оборудования для реализации метода селективной выемки торфяного сырья	49

Среднее машиностроение

Война А.А., Луценко И.И. Влияние угла заострения рабочего профиля несимметричного зуба звездочки на поперечные колебания ветвей цепи, вызванные разношаговостью звеньев цепи	52
Война А.А., Луценко И.И. Червячная фреза для нарезания звездочек с несимметричными зубьями	56
Война А.А., Юнин В.В., Сотников А.А. Червячно-цилиндрическая передача	59

Ремонт машин и оборудования

Михеев Р.С., Калашников И.Е., Кобелева Л.И. Особенности нанесения рабочего слоя процессом дуговой наплавки при восстановлении и ремонте функционально-организованных слоистых композиций триботехнического назначения	62
Никишкина А.Б., Булычев В.В. Совершенствование технологии ремонтной сварки чугуна	66
Москвитин Г.В., Архипов В.Е., Пугачев М.С. Свойства покрытий на основе меди и медь-цинк, полученные методом холодного газодинамического напыления	69

Смежные вопросы развития машиностроения

Чистов Е.С. Экспериментальные исследования конструкции пассивной системы виброизоляции для изделия «Урал-12»	72
Муравьев А.Г., Шифрин Б.М. Информационная безопасность в аспекте развития современного машиностроения	75
Жариков А.Н., Жигалов А.Н., Башаримов М.В. Предпосылки для разработки метода прессования твердосплавных изделий с четырехкратным отношением длины к диаметру	79
Янин Н.П. Анализ современных стандартов в области цифровых двойников	82

Современные проблемы инженерного образования

Бирюкова И.П., Панюшкин Н.Н. Формирование исследовательских компетенций в физическом практикуме	85
Воробьев Д.И., Кузин А.О. Разработка цифрового двойника прессы для кузнечно-штамповочного производства	88
Угрюнов В.Г., Кочетов А.С., Варданян Г.Б. Применение электронного обучения для повышения квалификации инженерных кадров гражданской авиации России	91

АЛГОРИТМЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ОПТИМАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ

Бохонский А.И., Рыжков А.И.

Севастопольский государственный университет, Севастополь

Ключевые слова: вариационное исчисление, обратные задачи, конструирование управлений, поиск кососимметричных ускорений.

Аннотация. Рассмотрены два типа кососимметричных оптимальных управлений движением объектов как абсолютно твердых тел. Раскрыты особенности конструирования таких управлений с использованием алгоритма решения полной обратной задачи вариационного исчисления. Поиск решений задач иллюстрируется на примерах.

DESIGNING ALGORITHMS FOR CONTROLLED OPTIMAL MOTIONS OF OBJECTS

Bokhonsky A.I., Ryzhkov A.I.

Sevastopol State University, Sevastopol

Keywords: variational calculus, inverse problems, control design, search for skew-symmetric accelerations.

Abstract. Two types of skew-symmetric optimal controls for the motion of objects (as absolutely rigid bodies) are considered. The features of such controls designing, using the algorithm for solving the complete inverse problem of the calculus of variations, are disclosed. The search for problem solutions is illustrated by examples.

Введение

Вариационное исчисление создано и развито в трудах выдающихся ученых И. Бернулли, Л. Эйлера, Г. Лейбница, Ж. Лагранжа, У. Гамильтона, М. Остроградского и других. Решение задач с использованием методов вариационного исчисления отражено, например, в литературе [1-3].

Прямая задача вариационного исчисления означает поиск экстремума функционала, а обратная – предполагает поиск самого функционала как критерия. В работах [4-7] решение полной обратной задачи вариационного исчисления (по заданной аналитической функции находится не только уравнение Эйлера-Пуассона, но и восстанавливается функционал) названо реверсионным исчислением. Алгоритмы реверсионного исчисления обладают рядом особенностей, которые систематизированы в публикации [6].

При обобщении результатов аналитических экспериментов реверсионный принцип оптимальности (РПО) был сформирован в работе [6] для частного случая конструирования оптимального управления (ускорения) упругого объекта. РПО при конструировании оптимального управления переносных движений упругого объекта предполагает, что определяемой аналитической кососимметричной функции переносного ускорения (управления) соответствует уравнение Эйлера-Пуассона для восстанавливаемого функционала-критерия оптимальности, принимающего за минимально приемлемое время движения,

определяемое из моментных соотношений в относительном движении, экстремальное значение (минимум).

В наиболее общем случае РПО означает проектирование такого ускорения, при котором наблюдается наименьшее энергетическое принуждение для реализации цели переносного движения.

Цель исследований – на примерах проиллюстрировать алгоритм конструирования кососимметричных гармонических и полиномиальных управлений движения объектов из исходного состояния покоя в конечное при заданном максимальном перемещении и времени движения.

Гармонические кососимметричные управляющие воздействия

Наиболее простое ускорение имеет вид

$$U_e(t) = a \cdot \sin(pt) \quad (1)$$

или
$$\frac{d^2 S_e}{dt^2} = a \cdot \sin(pt), \quad (2)$$

где $U_e(t)$ – переносное ускорение; $S_e(t)$ – перемещение в переносном движении; $a, p = \text{const}$. Если движение осуществляется из исходного состояния покоя ($S_e(t)=0, V_e(t)=0$) в конечное состояние покоя ($S_e(T)=L, V_e(T)=0$), то

$$S_e(t) = \frac{L}{2\pi} (pt - \sin(pt)), \quad V_e(t) = \frac{dS_e}{dt}, \quad U_e(t) = \frac{dV_e}{dt} \quad (3)$$

где константа

$$a = \frac{Lp^2}{2\pi} = \frac{2\pi L}{T^2}, \quad (4)$$

T – общее время движения.

Функция $S_e(t)$ является решением дифференциального уравнения

$$\frac{d^2 S_e}{dt^2} + p^2 S_e = \frac{Lp^3}{2\pi} \cdot t, \quad (5)$$

которое в свою очередь – уравнение Эйлера-Пуассона для функционала

$$J_1 = \int_0^T \left(\frac{\dot{S}_e^2}{2} - U(t) \cdot S_e \right) dt. \quad (6)$$

Если в качестве ускорения принято

$$U_e(t) = a \cdot \sin^3(pt), \quad (7)$$

то в этом случае уравнение Эйлера-Пуассона

$$\frac{d^4 U_e(t)}{dt^4} + 10p^2 \frac{d^2 U_e(t)}{dt^2} + 9p^4 U_e(t) = 0, \quad \text{которому соответствует функционал}$$

$$J_2 = \frac{1}{2} \int \left(9p^4 U_e^2 - 10p^2 \dot{U}_e^2 + \ddot{U}_e^2 \right) dt. \quad (8)$$

Обобщая результаты аналитических экспериментов, можно кососимметричные управления в общем случае представить как

$$U_e(t) = a_n \sin^{2n+1}(pt), \quad (9)$$

где $n=0,1,2 \dots$

Управление (переносное ускорение) в виде непрерывных непериодических кососимметричных функций

В литературе известен простой случай управления, полученный в результате решения прямой задачи вариационного исчисления при использовании критерия оптимальности $\int_0^T U^2 dt$. С учетом краевых условий

$S_e(0) = 0, \dot{S}_e(0) = 0; S_e(T) = L, \dot{S}_e(T) = 0$ получены выражения для перемещения, скорости и ускорения при движении из исходного в конечное состояние абсолютного покоя:

$$U(t) = \frac{6L}{T^3}(T - 2t), \quad V(t) = \frac{6Lt}{T^3}(T - t), \quad S(t) = \frac{Lt^2}{T^3}(3T - 2t). \quad (10)$$

Аналитические эксперименты с увеличением степени полинома показали, что в общем виде управление представлено как

$$U(t) = a_n \frac{(T - 2t)^{2n-1}}{T^{2n-1}}, \quad (11)$$

где $n=0,1,2 \dots$.

Уравнение Эйлера-Пуассона

$$\frac{d^{2n}U}{dt^{2n}} = 0, \quad (12)$$

которому соответствует функционал-критерий $J_3 = \int_0^T \left[U^{n_1} \right]^2 dt$, где n_1 – порядок производной $\frac{dU}{dt}$ (где $n_1=1,2,3 \dots$).

Данный тип управлений (11) не только приводит к достижению абсолютного покоя в конечном состоянии при переносном движении упругого объекта, но и позволяет снизить энергоемкость реализации оптимального движения.

Заключение

1. Дальнейшее развитие алгоритмов решения полных обратных задач вариационного исчисления (от функции – к функционалу), названного в [6] реверсионным исчислением, приведет к появлению новых типов критериев оптимальности и соответствующих им оптимальных управлений.

2. Во многих областях современной техники, в которых необходимо за минимально возможное приемлемое время перемещать объекты конечной жесткости с достижением состояния абсолютного либо относительного покоя, найдут применение рассмотренного типа управления, обеспечивающие снижение энергозатрат на достижение цели движения.

Список литературы

1. Лаврентьев М.А. Люстерник Л.А. Курс вариационного исчисления. – М.: Гостехиздат, 1950. – 296 с.

2. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. – М.: Наука, 1965. – 424с.
3. Бронштейн И.Н. Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – М.: Наука, 1981. – 720 с.
4. Бохонский А.И., Варминская Н.И., Мозолевский М.И. Оптимальное управление переносным движением деформируемых объектов: теория и технические приложения / Под ред. А.И. Бохонского. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. – 296 с.
5. Бохонский А.И. Актуальные задачи вариационного исчисления: Монография. – Palmarium Publishing. 2013. – 77 с.
6. Бохонский А.И. Реверсионный принцип оптимальности: монография / под общей ред. А.И. Бохонского. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2016. – 174 с.
7. Бохонский А.И., Варминская Н.И. Конструирование оптимальных управлений перемещением упругих объектов. – Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2020. – 120 с.

Сведения об авторах:

Бохонский Александр Иванович – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Цифровое проектирование»;

Рыжков Александр Игоревич – к.т.н., старший преподаватель кафедры «Цифровое проектирование».

МЕТОДИКА СИНТЕЗА МЕХАНИЗМОВ С ЛИНЕЙНЫМИ ПРИВОДАМИ

Садиева А.Э., Душенова М.А., Кокоева У.У.

*Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова,
Бишкек, Кыргызстан*

Ключевые слова: кинематическая пара, звено, линейный привод, гидравлический привод, кинематическая цепь.

Аннотация. В статье рассматривается методика синтеза механизмов с линейными приводами. Для синтеза механизмов использована универсальная структурная система для плоских кинематических цепей. На основе решения универсальной структурной системы для плоских кинематических цепей с кинематическими парами четвертого и пятого классов получены несколько решений, которые реализованы в схемах при $\tau = 3$ и $\tau = 4$.

JUSTIFICATION OF THE CLASSIFICATION OF MECHANISMS WITH LINEAR DRIVES

Sadieva A.E., Dushenova M.A., Kokoeva U.U.

Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyzstan

Keywords: kinematic pair, link, linear drive, hydraulic drive, kinematic chain.

Abstract. The article discusses the method of synthesis of mechanisms with linear drives. A universal structural system for flat kinematic circuits is used for the synthesis of mechanisms. Based on the solution of a universal structural system for flat kinematic circuits with kinematic pairs of the fourth and fifth classes, several solutions have been obtained, which are implemented in schemes for $\tau = 3$ and $\tau = 4$.

Механизмы с линейными приводами получили широкое применение в различных областях производства. Под линейными приводами понимается механизм, в состав которого входит гидравлический цилиндр, и перемещающийся относительно цилиндра поршень со штоком. Такие механизмы могут оснащаться (от одного и более) линейными приводами, машины обладают широкими возможностями перемещения рабочего органа в пространстве.

Рассмотрим синтез рычажных механизмов с линейными приводами, которые имеют вращательные p_{5B} и поступательные $p_{5П}$ пары пятого класса p_5

$$p_5 = p_{5П} + p_{5B}. \quad (1)$$

Подвижность в таких механизмах равна числу поступательных кинематических пар пятого класса

$$W = p_{5П}. \quad (2)$$

Для синтеза механизмов с линейными приводами применяем универсальную структурную систему [1]. Для плоских кинематических цепей с кинематическими парами четвертого и пятого классов имеет следующий вид

$$\begin{aligned} p_5 + p_4 &= \tau + (\tau - 1)n_{\tau-1} + \dots + in_i + \dots + 2n_2 + n_1, \\ n &= 1 + n_{\tau-2} + \dots + n_i + \dots + n_2 + n_1, \\ W &= 3n - 2p_5, \end{aligned} \quad (3)$$

где τ – число геометрических элементов базисного звена, τ -угольника,

n – число подвижных звеньев,

n_i – число звеньев, добавляющих в цепь по i кинематических пар,

W – подвижность механизма.

Третью формулу системы (3) с учетом (1) можно записать как

$$W = 3n - 2(p_{5\Pi} + p_{5B}). \quad (4)$$

С учетом (2) уравнение (4) запишется в виде

$$3n - 2p_{5B} = 3p_{5\Pi}. \quad (5)$$

Если задать подвижность рычажных механизмов $W = p_{5\Pi} = 1$, то уравнение (5) запишется как

$$3n - 2p_{5B} = 3. \quad (6)$$

Рассмотрим механизм с $\tau = 3$. Для этого случая универсальная структурная система (3) запишется в виде

$$\begin{cases} 3 + 2n_2 + n_1 = 1 + p_{5B}, \\ 1 + n_2 + n_1 = n, \\ 3n - 2p_{5B} = 3. \end{cases} \quad (7)$$

Из второго уравнения системы (7) получим число звеньев, добавляющих в цепь одну кинематическую пару

$$n_1 = n - 1 - n_2. \quad (8)$$

Подставив уравнение (8) в первое уравнение системы (7) получим

$$1 + n_2 + n = p_{5B}. \quad (9)$$

Пусть $n_2 = 0$, тогда $p_{5B} = 1 + n$. (10)

С учетом (10) из третьего уравнения системы (7) получим число подвижных звеньев механизма $n = 5$. На основании полученного можно построить схему рычажного механизма со следующими параметрами $\tau = 3$, $n = 5$, $n_1 = 4$, $p_{5B} = 6$, $p_{5\Pi} = 1$, которая приведена на рисунке 1.

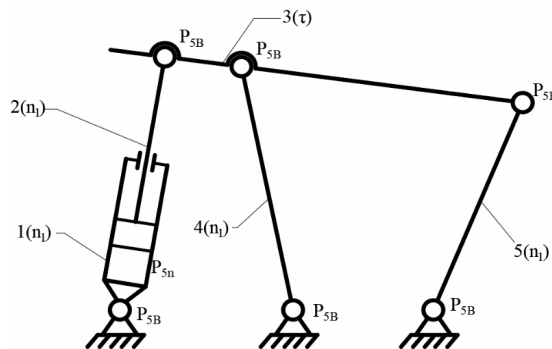


Рис. 1. Механизм с параметрами $\tau = 3$, $n = 5$, $n_1 = 4$, $p_{5B} = 6$, $p_{5\Pi} = 1$

Этот механизм состоит из пяти подвижных звеньев, семи кинематических пар, одна из которых является поступательной парой пятого класса p_5 . Ведущим звеном этого механизма является звено 1.

Если задать подвижность рычажного механизма $W = p_{5\Pi} = 2$, то уравнение (5) запишется

$$3n - 2p_{5B} = 6.$$

Рассмотрим механизм с $\tau = 3$, то для этого случая универсальная структурная система (3) запишется

$$\begin{cases} 3 + 2n_3 + n_1 = 1 + p_{5B}, \\ 1 + n_2 + n_1 = n, \\ 3n - 2p_{5B} = 6. \end{cases} \quad (11)$$

Из второго уравнения системы (11) получим

$$n_1 = n - n_2 - 1. \quad (12)$$

Подставим уравнение (12) в первое уравнение системы (11) получим

$$1 + n_2 + n = p_{5B}. \quad (13)$$

$$\text{Пусть } n_2 = 0, \text{ тогда } p_{5B} = n + 1. \quad (14)$$

С учетом (14) из третьего уравнения системы (11), получим $n = 8$.

Механизм [2] имеющий параметры $\tau = 3$, $n = 8$, $n_1 = 6$, $p_{5B} = 9$, $p_{5П} = 2$ приведен на рисунке 2.

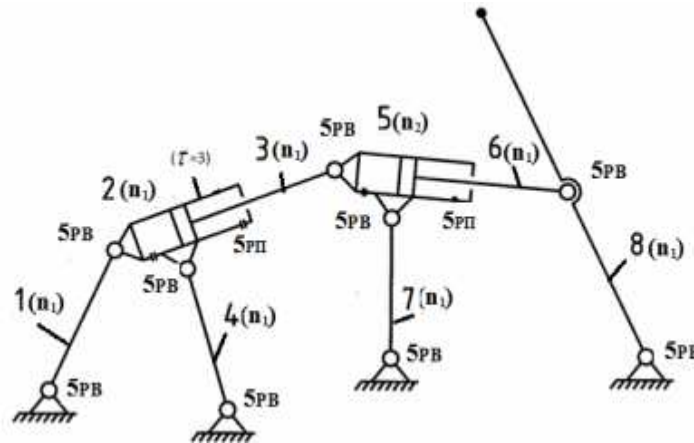


Рис. 2. Механизм с параметрами $\tau = 3$, $n = 8$, $n_1 = 6$, $p_{5B} = 9$, $p_{5П} = 2$

Рассмотрим следующий случай синтеза рычажного механизма, когда число поступательных кинематических пар пятого класса $p_{5П}$ равно двум и подвижность W механизма равно $W = 2$.

Третье уравнение системы (3) тогда по (5) запишется в виде

$$3n - 2p_{5B} = 6. \quad (15)$$

Если теперь принять за самое сложное звено $\tau = 4$ то система (3) примет вид

$$\begin{cases} 4 + 3n_3 + 2n_2 + n_1 = 2 + p_{5B}, \\ 1 + n_3 + n_2 + n_1 = n, \\ 3n - 2p_{5B} = 6. \end{cases} \quad (16)$$

Из второго уравнения системы (16) выразим n_1

$$n_1 = n - 1 - n_3 - n_2.$$

Подставим значение n_1 в первое уравнение системы (13) и получим

$$1 + 2n_3 + n_2 + n = p_{5B}.$$

$$\text{Пусть } n_3 = 0, n_2 = 0, \text{ тогда } p_{5B} = n + 1. \quad (17)$$

С учетом (17) из третьего уравнения системы (16) можно определить число подвижных звеньев, оно будет равно $n = 8$.

Механизм [3] который удовлетворяет этим параметрам приведен на рисунке 3.

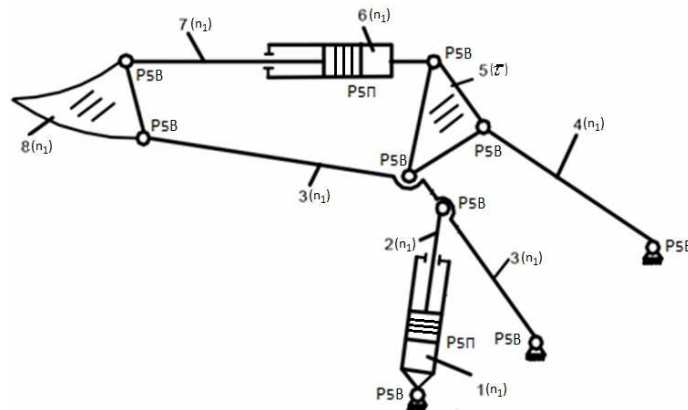


Рис. 3. Механизм с параметрами $\tau = 4$, $n = 8$, $n_2 = 0$, $n_1 = 7$, $p_{5П} = 2$, $p_{5B} = 9$

Таким образом, можно заключить, что на основании решения универсальной структурной системы можно получить многообразие структурных схем механизмов с линейными приводами.

Список литературы

1. Дворников Л.Т. Начала теории структуры механизмов: Учебное пособие. – Новокузнецк: СибГГМА, 1994. – 102 с.
2. Душенова М.А., Садиева А.Э., Токтогулова А.К. Структурный синтез группы Ассура механизмов с линейными приводами // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2019. – №5. – С. 33-37.
3. Душенова М.А., Садиева А.Э. Кинематическое исследование многоподвижных механизмов с гидравлическими линейными приводами // Материалы девятой научно-методической конференции «Основы проектирования машин». – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2015. – С. 41-46.

Сведения об авторах:

Садиева Анаркуль Эсенкуловна – д.т.н., профессор, заведующая кафедрой «Машины и аппараты пищевых производств»;

Душенова Марина Анарбековна – старший преподаватель кафедры «Механика и промышленная инженерия»;

Коколеева Уларкан Уркунбаевна – к.т.н., доцент кафедры «Машины и аппараты пищевых производств».

СИНТЕЗ ТРЕХЗВЕННЫХ И ПЯТИЗВЕННЫХ КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Садиева А.Э., Коколоева У.У., Душенова М.А.

*Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова,
Бишкек, Кыргызстан*

Ключевые слова: кулачок, кулачковый механизм, кинематическая пара, кинематическая цепь, классификация механизма, стержень, поступательная пара, вращательная пара, коромысло, толкатель, стойка.

Аннотация. В этой статье рассматриваются вопросы синтеза схем трехзвенных и пятизвенных кулачковых механизмов, широко применяемых в машиностроении и в различных отраслях промышленности. При исследовании использована универсальная структурная система проф. Л.Т. Дворникова. Параметры трехзвенных и пятизвенных кулачковых механизмов получены решением универсальной структурной системы. На основании полученных решений построены структуры кулачковых механизмов.

SYNTHESIS OF THREE-LINK AND FIVE-LINK CAM MECHANISMS

Sadieva A.E., Kokoloeva U.U., Dushenova M.A.

Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyzstan

Keywords: cam, cam mechanism, kinematic pair, kinematic chain, mechanism classification, rod, translational pair, rotational pair, rocker arm, pusher, rack.

Abstract. This article discusses the issues of synthesizing schemes of three-vein and five-link cam mechanisms, widely used in mechanical engineering and in various industries. The study used the universal structural system prof. L.T. Dvornikov. The parameters of three-link and five-link cam mechanisms are obtained by solving a universal structural system. Based on the solutions obtained, the structures of cam mechanisms are constructed.

Кулачковый механизм – это механизм [1], образующий высшую кинематическую пару, имеющий подвижное звено, совершающее вращательное движение, – кулак (кулачок), с поверхностью переменной кривизны или имеющей форму эксцентрика, взаимодействующей с другим подвижным звеном – толкателем, если подвижное звено совершает прямолинейное движение, или коромыслом, если подвижное звено совершает качательное движение.

Кулачковые механизмы широко используются в различных областях техники. Они применяются в машиностроении, двигателях внутреннего сгорания, металлорежущих станках, полиграфических оборудованьях, ткацких станках и различных технологических машинах.

Вопросы кулачковых механизмов были рассмотрены в работах С.И. Артоболевского, Г.Г. Баранова и др.

Универсальная структурная система профессора Л.Т. Дворникова для плоских кинематических цепей с кинематическими парами четвертого и пятого классов имеет следующий вид [2].

$$\begin{aligned} p_5 + p_4 &= \tau + (\tau - 1)n_{\tau-1} + \dots + in_i + \dots + 2n_2 + n_1, \\ n &= 1 + n_{\tau-1} + \dots + n_i + \dots + n_2 + n_1, \end{aligned} \quad (1)$$

$$W = 3n - 2p_5 - p_4.$$

где τ – число геометрических элементов базисного звена; n_i – число звеньев, добавляющих в цепь по i кинематических пар; n – число подвижных звеньев; W – подвижность кинематической цепи.

Если задать подвижность механизма $W = 1$, $\tau = 2$, то число кинематических пар p_5 можно определить из системы (1):

$$\begin{cases} p_5 = 2 + n_1 - 1, \\ n = 1 + n_1. \end{cases} \quad (2)$$

Тогда система (2) дает решение $n = 2$, $p_4 = 1$, $p_5 = 2$, $n_1 = 1$. Это решение [3] описывается механизмами, приведенными в таблице 1 (схемы а-е).

Если принять $\tau = 3$, то система (1) примет вид

$$\begin{cases} p_5 + p_4 = 3 + 2n_2 + n_1 \\ n = 1 + n_2 + n_1. \\ W = 3n + 2p_5 + p_4. \end{cases} \quad (3)$$

Из второго уравнения системы (3) выразим n_1

$$n_1 = n - 1 - n_2. \quad (4)$$

Подставим значение n_1 в первое уравнение системы (3) и получим

$$n = p_5 + p_4 - n_2 - 2. \quad (5)$$

Далее, подставив значение n из формулы (5) в третье уравнение системы, при $W = 1$ получим

$$p_5 + 2p_4 - 3n_2 = 7. \quad (6)$$

Пусть $p_4 = 1$, тогда $p_5 + 2 - 3n_2 = 7$. Пусть $n_2 = 0$, тогда $p_5 = 5$.

Согласно уравнениям (4) и (5) определяются значения n и n_1 , т.е. $n = 4$, $n_1 = 3$. Схемы кулачковых механизмов, удовлетворяющих данным параметрам, приведены в таблице 1 с трехугольным базисным звеном при $\tau = 3$ (схемы к-р).

Табл. 1. Схемы кулачковых механизмов

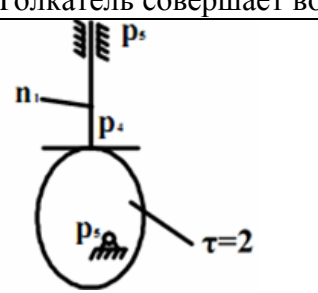
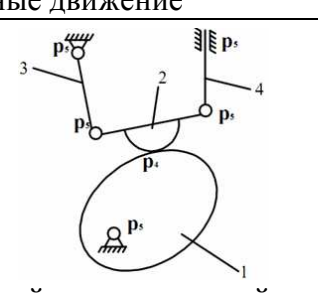
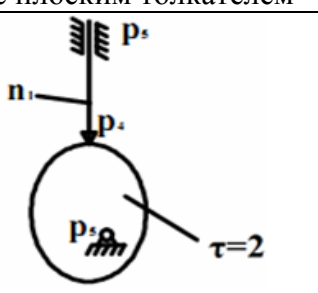
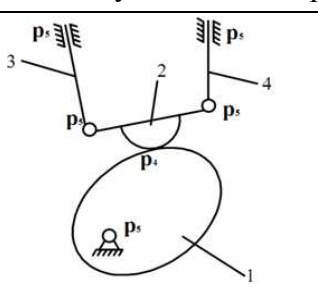
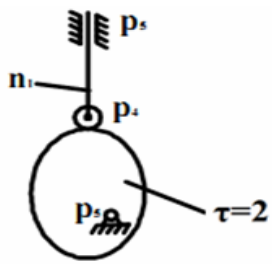
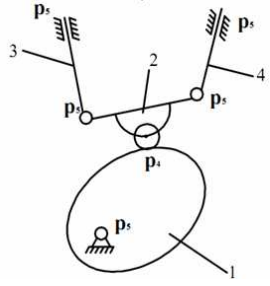
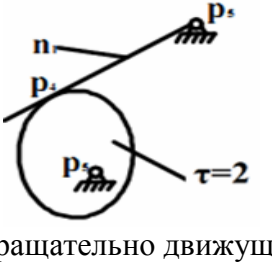
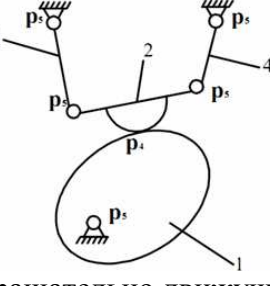
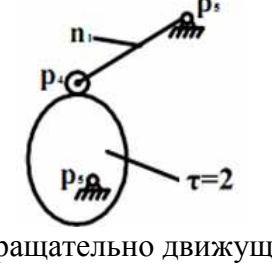
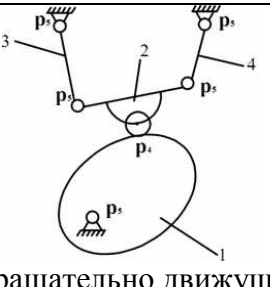
Толкатель совершает возвратно-поступательные движения			
с двух угольным базисным звеном при $\tau=2$	 <p>а) с плоским толкателем</p>	с трехугольным базисным звеном при $\tau=3$	 <p>к) одной поступательной парой</p>
с двух угольным базисным звеном при $\tau=2$	 <p>в) толкатель с острием на конце</p>	с трехугольным базисным звеном при $\tau=3$	 <p>л) с двумя поступательными парами</p>

Табл. 1. Продолжение

с двух угловым базисным звеном при $\tau=2$	 <p>с) толкатель с роликом</p>	с трехугольным базисным звеном при $\tau=3$	 <p>м) с двумя поступательными парами с роликом</p>
Толкатель совершает вращательное движение			
с двух угловым базисным звеном при $\tau=2$	 <p>д) с вращательно движущимся толкателем</p>	с трехугольным базисным звеном при $\tau=3$	 <p>н) с вращательно движущимся сложным толкателем</p>
с двух угловым базисным звеном при $\tau=2$	 <p>е) с вращательно движущимся толкателем и роликом</p>		 <p>р) с вращательно движущимся сложным толкателем и роликом</p>

Таким образом, можно заключить, что схемы кулачковых механизмов можно получить путем решения универсальной структурной системы.

Список литературы

1. Артоблевский С.И. Теория механизмов и машин. – 3-е изд., доп. – М.: Высшая школа, 1988. – 639 с.
2. Дворников Л.Т. Начала теории структуры механизмов: Учебное пособие. – Новокузнецк: СибГГМА, 1994. – 102 с.
3. Дворников Л.Т., Садиева А.Э., Кокоева У.У., Душенова М.А. Методика синтеза кулачковых механизмов // Машиноведение. – 2018. – №1(7). – С. 10-14.

Сведения об авторах:

Садиева Анаркуль Эсенкуловна – д.т.н., профессор, заведующая кафедрой «Машины и аппараты пищевых производств»;

Кокоева Уларкан Уркунбаевна – к.т.н., доцент кафедры «Машины и аппараты пищевых производств»;

Душенова Марина Анарбековна – старший преподаватель кафедры «Механика и промышленная инженерия».

ДИНАМИКА ТЕЛА НА ВИБРИРУЮЩЕМ ОСНОВАНИИ С УЧЕТОМ ТРЕНИЯ ПОКОЯ

Муницын А.И., Наим М.М.

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва

Ключевые слова: опорная плоскость, сухое трение, нелинейные колебания.

Аннотация. Рассматривается задача о движении тяжелого тела на твердом основании, движущемся в горизонтальном направлении по гармоническому закону. Предполагается, что тело движется вдоль прямой, в плоскости контакта между тела и основанием действует сила сухого трения и сила трения покоя больше силы трения скольжения. Получено решение для установившихся колебаний для двух типов движения, построены зависимости амплитуды скорости и фаз колебаний тела от коэффициента трения и частоты. Обнаружены области неоднозначности решения задачи.

DYNAMICS OF A BODY ON A VIBRATING BASE WITH FRICTION OF REST

Munitsyn A.I., Naim M.M.

National Research University "MEI", Moscow

Keywords: reference plane, dry friction, nonlinear oscillations.

Abstract. The problem of the movement of a heavy body on a solid base moving in a horizontal direction according to the harmonic law is considered. It is assumed that the body moves along a straight line, in the plane of contact between the body and the base, the dry friction force acts and the resting friction force is greater than the sliding friction force. A solution for steady-state oscillations for two types of motion is obtained, the dependences of the amplitude of the velocity and the phases of the oscillations of the body on the coefficient of friction and frequency are constructed. Areas of ambiguity of the problem solution are found.

Для исследования процессов вибротранспортировки сыпучих сред используется модель материальной точки, находящейся в контакте с подвижным основанием [1, 2]. В этой задаче важную роль играет выбор модели сухого трения. История развития закона сухого трения подробно описана в [3]. Различные модели сухого трения рассмотрены в [4].

В данной работе предпринята попытка исследования прямолинейного движения твердого тела на горизонтально вибрирующем основании с учетом трения покоя. Выбрана простейшая модель сухого трения при которой сила трения постоянна и направлена противоположно скорости движения тела. При отсутствии скорости проскальзывания сила трения может принимать любые значения в диапазоне определяемым коэффициентом трения покоя. В [5] эта же задача рассматривалась без учета трения покоя.

Постановка задачи. Рассмотрим задачу о движении тела массой m на горизонтальной плоскости. Плоскость вибрирует в горизонтальном направлении со скоростью изменяющейся по гармоническому закону $V_0(t) = A_0 \cos(\theta_0 t)$, где A_0, θ_0 – амплитуда и частота движения основания соответственно. Скорость центра масс обозначим v_0 . Тело находится в поле силы тяжести, к центру масс

твердого тела приложена сила тяжести mg . Высоту тела полагаем малой по сравнению с размерами основания, нагрузку на опорную поверхность со стороны основания принимаем равномерно распределенной. Вертикально направленную результирующую силу реакции основания обозначаем N .

Уравнение движения тела имеет вид

$$m \frac{dv_0}{dt} - F = 0.$$

Скорость точки контакта в горизонтальном направлении относительно движущейся плоскости

$$u_0 = v_0 - V_0(t) = v_0 - A_0 \cos(\theta_0 t).$$

Сила трения скольжения задается по модели сухого трения $F = \eta_0 mgf$, сила трения покоя $F = \eta_0 mgf_0$. Здесь η_0 – коэффициент трения скольжения, $\eta_0 f_0$ – коэффициент трения покоя, $-f_0 < f < f_0$ в том случае, если проскальзывание между телом и опорной поверхностью отсутствует, f_0 – безразмерный параметр определяемый как отношение силы трения покоя к силе трения скольжения. Если скорость проскальзывания отлична от нуля, то $f = -\text{sign}(u_0)$.

Введем безразмерное время $\tau = \theta_0 t$, безразмерные скорости

$$u = u_0 / A_0, v = v_0 / A_0, V = V_0 / A_0 = \cos(\tau)$$

и безразмерный коэффициент трения $\eta = \frac{\eta_0 g}{\theta_0 A_0}$. В безразмерных переменных

движение системы описывается уравнением

$$\dot{v} = \eta f. \quad (1)$$

Безразмерная скорость проскальзывания

$$u = v - \cos(\tau). \quad (2)$$

Периодические решения. Уравнение (1) имеет периодические решения двух типов [1,2]. Движение первого типа – это движение с двумя мгновенными остановками. Скорость проскальзывания отлична от нуля и сила трения покоя не влияет на движение тела. Пусть смена знака скорости скольжения происходит в момент времени $\tau = \varphi_1$ и $\tau = \varphi_1 + \pi$.

Получаем условия, при которых реализуется движение первого типа

$$\eta < \frac{2}{\sqrt{4 + \pi^2}}. \quad (3)$$

Движение второго типа – это движение с двумя длительными остановками на периоде колебаний, при которых часть цикла происходит с проскальзыванием, а часть без проскальзывания. Введем еще одну фазу φ_2 , так что на интервалах $\varphi_1 < \tau < \varphi_2$ и $\varphi_1 + \pi < \tau < \varphi_2 + \pi$ происходит проскальзывание между телом и основанием, а на интервалах $\varphi_2 < \tau < \varphi_1 + \pi$ и $\varphi_2 + \pi < \tau < \varphi_1 + 2\pi$ тело движется вместе с плоскостью, $v(\tau) = \cos(\tau)$, $u(\tau) = 0$. Относительное движение начинается при достижении силой трения предельного значения равного силе трения покоя.

Амплитуда колебаний $A = \cos \varphi_2$ при $\varphi_2 > 2\pi$ и $A = 1$ при $\varphi_2 < 2\pi$. Полученное решение с двумя длительными остановками справедливо при выполнении условия

$$\varphi_2 \leq \varphi_1 + \pi,$$

в противном случае не выполняется условие периодичности. С учетом формул (5) можно получить явное выражение для параметра трения при котором реализуется движение второго типа

$$\frac{2}{\sqrt{4f_0^2 + \pi^2}} < \eta < \frac{1}{f_0}. \quad (7)$$

Из условий (4) и (7) следует, что в диапазоне

$$\frac{2}{\sqrt{4f_0^2 + \pi^2}} < \eta < \frac{2}{\sqrt{4 + \pi^2}}$$

возможно движение как первого, так и второго типа.

При больших значениях коэффициента сухого трения тело может двигаться совместно с основанием без проскальзывания на всем периоде колебаний.

Анализ результатов. Зависимости $A(\eta)$ и $\varphi_1(\eta)$, $\varphi_2(\eta)$ для значения параметра трения покоя $f_0 = 1,5$ приведены на рисунках 1 и 2 соответственно.

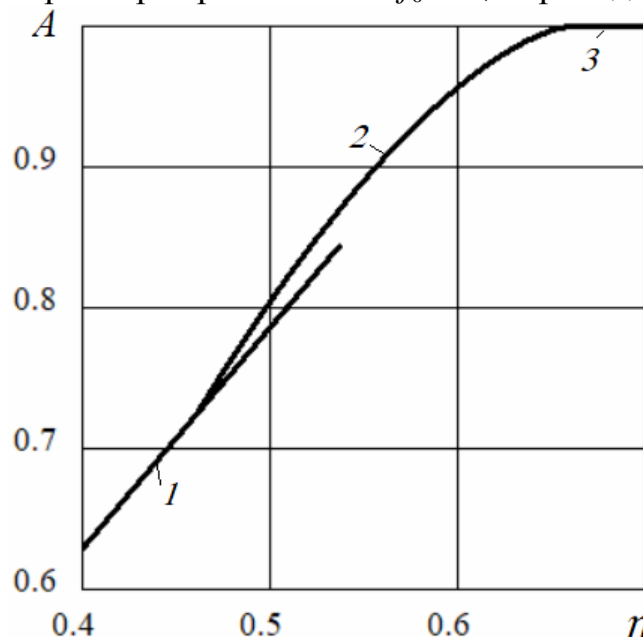


Рис. 1

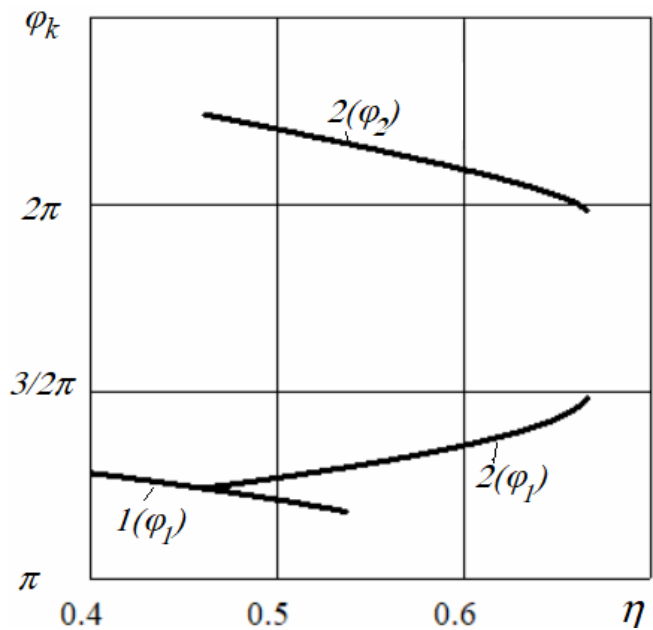


Рис. 2

Зависимости скорости тела от времени на одном периоде $v(\tau)$ представлены жирной линией на рисунках 3 и 4 для значения параметра трения $\eta = 0,53$.



Рис. 3

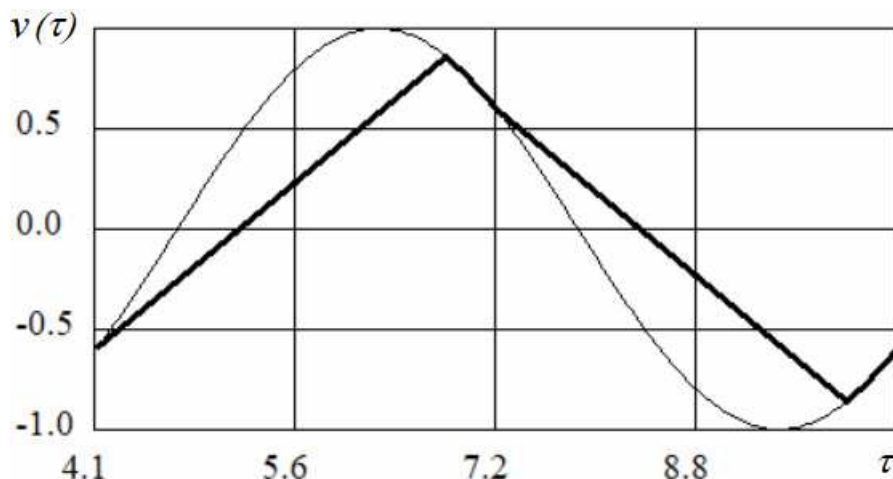


Рис. 4

Тонкой линией обозначена зависимость скорости движения основания. На рисунке 3 показано движение с двумя мгновенными остановками, на рисунке 4 – движение с двумя длительными остановками.

Список литературы

1. Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю. Вибрационное перемещение. – М.: Наука, 1964. – 410 с.
2. Нагаев Р.Ф. Периодические режимы вибрационного перемещения. – М.: Наука, 1978. – 160 с.
3. Журавлёв В.Ф. К истории закона сухого трения // Известия РАН. Механика твердого тела. – 2013. – № 4. – С. 13-19.
4. Андронов В.В., Журавлев В.Ф. Сухое трение в задачах механики. Институт компьютерных исследований. – М., Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. – 184 с.
5. Муницын А.И. Динамика твердого тела на горизонтально вибрирующем основании // Вестник машиностроения. – 2022. – №2. – С. 19-22.

Сведения об авторах:

Александр Иванович Муницын – д.т.н., профессор;

Наим Муханнад Мухаммад – аспирант.

УДК 621(825.5/.7)+004.946

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЧЕТЫРЕХВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКИ С ПОМОЩЬЮ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МЕТОДА

Мележик Р.С., Власенко Д.А.

Донбасский государственный технический университет, Алчевск

Ключевые слова: четырехвалковая дробилка, муфта зубчатая, муфта пальцевая с эластичным элементом дискового типа, динамические нагрузки, виброперемещение, виброскорость, виброускорение, конечно-элементный метод.

Аннотация: В исследовании предложен конечно-элементный метод определения параметров вибрации, передающейся от валков четырехвалковой дробилки на подшипниковые опоры привода в процессе подготовки твердого топлива. В программном комплексе SolidWorks определены численные значения вибрационных характеристик на подшипниковых опорах вала, подшипнике и бабышке тихоходного вала редуктора с помощью конечно-элементной модели привода ДЧГ 900×700 в условиях использования муфты зубчатой и муфты пальцевой с эластичным элементом дискового типа. Обосновано снижение показателей вибрационных характеристик у муфты пальцевой с эластичным элементом дискового типа по сравнению с муфтой зубчатой в среднем в 2,4 раза.

RESEARCH OF THE DYNAMICS OF A FOUR-ROLL CRUSHER USING THE FINITE ELEMENT METHOD

Melezhik R.S., Vlasenko D.A.

Donbass State Technical University, Alchevsk

Keywords: four-roll crusher, gear coupling, pin coupling with an elastic disc-type element, dynamic loads, vibration displacement, vibration velocity, vibration acceleration, finite element method.

Abstract. The research proposes a finite element method for determining the parameters of vibration transmitted from the rolls of a four-roll crusher to the bearing supports of the drive during the preparation of solid fuel. In the SolidWorks software package, numerical values of vibration characteristics on the bearing supports of the roll, the bearing and the head of the low-speed shaft of the gearbox were determined using a finite element model of the DCHG 900×700 drive under conditions of using a gear coupling and a pin coupling with an elastic disk-type element. A decrease in the vibration characteristics of a pin coupling with an elastic disc-type element compared to a gear coupling is justified by an average of 2,4 times.

Введение. При фракционной подготовке твердого топлива в агломерационном производстве применяются четырехвалковые дробилки ДЧГ 900×700. Они имеют высокую надежность и эффективность работы по сравнению с другими дробилками, но в процессе работы испытывают существенные динамические нагрузки, которые негативно воздействуют на рабочие органы, подшипниковые опоры и детали привода снижают долговечность и эксплуатационную надежность [1]. Данные нагрузки носят случайный характер и передаются через рабочие органы на узлы и механизмы привода. Муфты зубчатые (МЗ №8) используемые в приводах данных дробилок, как показывает опыт, не способны в полной мере демпфировать ударно-переменные нагрузки, вследствие чего срок службы отдельных узлов и механизмов привода сокращается. В исследовании [2] рассмотрена возможность

применения компенсирующей муфты в приводе четырехвалковой дробилки для снижения разрушительного влияния динамических нагрузок и повышения срока службы элементов привода.

На сегодняшний день существует достаточно разновидностей компенсирующих муфт. Однако имея свои особенности конструкции, не все из них могут обеспечить необходимый уровень демпфирования. При этом основополагающую роль при выборе муфты играет величина передаваемого крутящего момента.

В работах [2, 3] в качестве компенсирующей муфты предлагается применять муфту пальцевую с эластичным элементом дискового типа [3] (МПЭЭДТ). Однако математического аппарат, который позволяет определить вибрационные параметры оборудования при использовании муфт с определенной жесткостью на данный момент, слабо изучен.

Цель исследования. Целью данного исследования является разработка математического метода определения и сравнительный анализ вибрационных характеристик привода при использовании муфты зубчатой и муфты пальцевой с эластичным элементом дискового типа.

Материал и методы. Для моделирования условий нагружений использовался конечно-элементный метод расчета вибрационных характеристик (виброперемещения, виброскорости, виброускорения) с применением программного комплекса SolidWorks [4]. Размеры проектируемых моделей соответствуют своим реальным прототипам, используемым в четырехвалковой дробилке ДЧГ 900×700. В процессе моделирования сравнивались условия нагружения привода от действия сил дробления при использовании МЗ №8 и МПЭЭДТ.

Для исследования динамики системы «валок-привод» был выбран линейный динамический анализ с параметром модальная временная диаграмма, в свойствах исследования выбиралось количество частот равное 15 с заданными динамическими параметрами (время начала – 0 с, время окончания 0,23 с, временной инкремент 0,01).

Далее для всех компонентов сборки был выбран глобальный контакт (связанные). Модель жестко крепилась у основания редуктора, а корпусам подшипниковых опор валка задана одна степень свободы – возможность перемещаться перпендикулярно оси валка. Нагрузка прилагалась к корпусам подшипниковых опор валка с вариацией со временем.

В рамках данного анализа проводилось 5 отдельных исследований, в которых изменялось значение суммарной нагрузки прикладываемой к корпусам подшипниковых опор валка от 30 до 150 кН с шагом 30 кН (рис. 1).

В результате исследования получены спектры колебаний вибрационных характеристик (рис. 2) измеренные: на корпусе подшипниковой опоры валка с холостой и приводной стороны; на внешнем кольце подшипника и бабышке подшипниковой опоры тихоходного вала редуктора.

Для сравнения параметров вибрации при использовании МЗ №8 и МПЭЭДТ применялась зависимость, по которой определялось среднее квадратичное значение вибрационных характеристик [5]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}, \quad (1)$$

где x – отсчет сигнала; n – количество отсчетов.

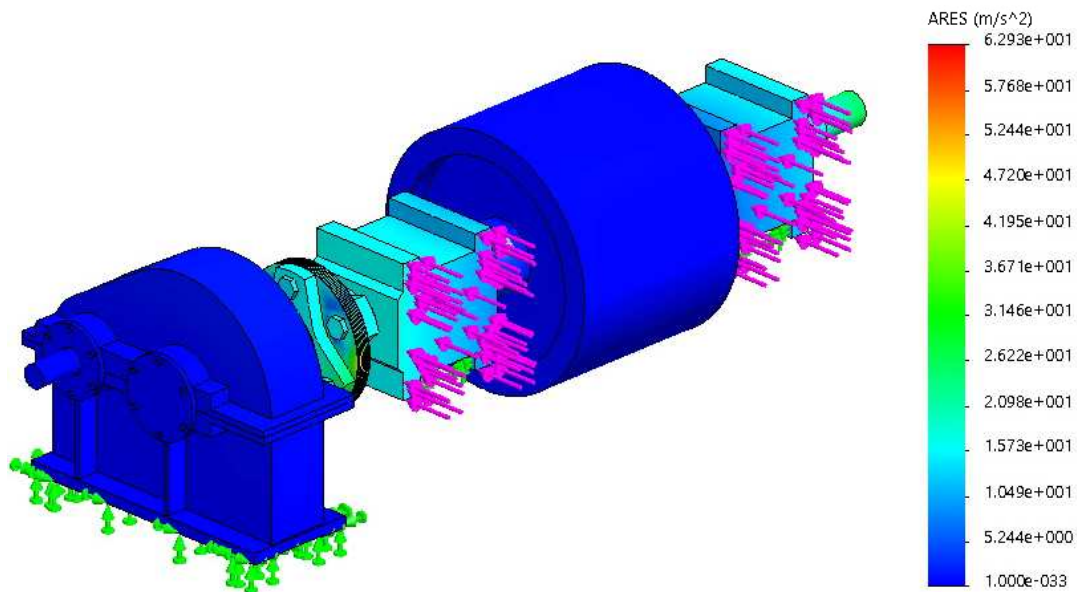


Рис. 1. Эпюра виброускорений привода ДЧГ 900×700 с приложенной суммарной нагрузкой 150 кН

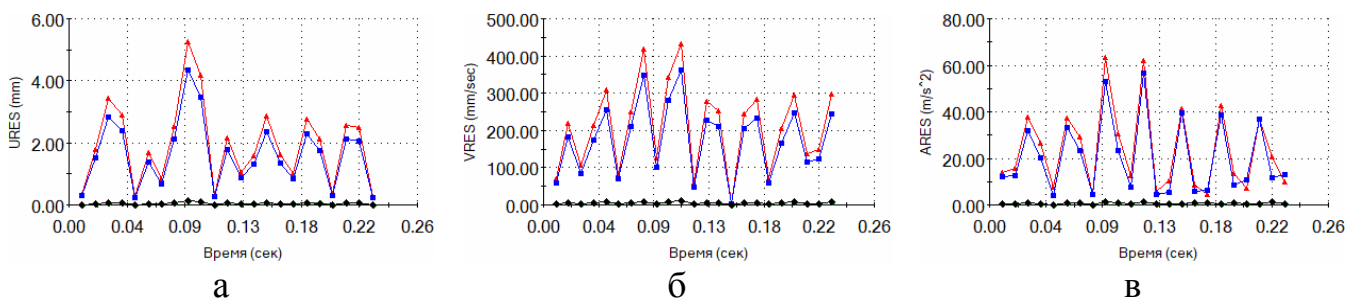


Рис. 2. Спектры колебаний результирующего виброперемещения URES (а), результирующей виброскорости VRES (б) результирующего виброускорения ARES (в) МПЭЭДТ при суммарной нагрузкой 150 кН

Результаты исследования. Результаты, полученные в ходе исследования в виде вибрационных характеристик (виброперемещения, виброскорости, виброускорения), представлены в таблице 1.

Табл. 1. Результаты измерений вибрационных характеристик

Вибрационная характеристика	МЗ №8	МПЭЭДТ
Среднее значение подшипниковых опор валка		
Виброперемещение, мм	2,67	2,09
Виброскорость, мм/с	402,68	208,32
Виброускорение, м/с ²	64,74	26,88
Внешнее кольцо подшипника тихоходного вала редуктора		
Виброперемещение, мм	0,13	0,06
Виброскорость, мм/с	19,47	5,69
Виброускорение, м/с ²	3,77	0,74

На основании полученных результатов можно утверждать, что средние показатели виброперемещения в 1,60 раз, виброскорости в 2,39 раз, виброускорения в 3,28 раза у МПЭЭДТ ниже по сравнению с МЗ №8.

Выводы. На основании разработанной конечно-элементной модели четырехвалковой дробилки ДЧГ 900×700 установлено снижение уровня вибрации подшипников привода, возникающей при ее передаче от валков дробилки в процессе работы при использовании муфты пальцевой с эластичным элементом по сравнению с муфтой зубчатой: виброперемещения в 1,60 раз, виброскорости в 2,39 раз, виброускорения в 3,28 раз.

Дальнейшим направлением исследований является экспериментальное подтверждение полученных результатов в производственных условиях.

Список литературы

1. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
2. Мележик Р.С., Власенко Д.А. Моделирование нагрузки и обоснование конструктивных параметров упругой пальцевой муфты с эластичным элементом дискового типа // Горные науки и технологии. – 2021. – Т. 6, №2. – С. 128-135. – doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-128-135.
3. Патент №210721 РФ. Муфта пальцевая с эластичным элементом дискового типа / Р.С. Мележик, Д.А. Власенко, А.П. Жильцов, Я.Э. Крупнов. – Заявка №2021113946 от 17.05.2021; опубл. 28.04.2022, Бюл. №20.
4. Прохоренко В.П. SolidWorks. Практическое руководство. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2004. – 448 с.
5. Ивович В.А., Онищенко В.Я. Защита от вибрации в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.

Сведения об авторах:

Мележик Руслан Сергеевич – аспирант, ассистент кафедры «Металлургия черных металлов»;
Власенко Дмитрий Алексеевич – к.т.н., доцент кафедры «Металлургия черных металлов».

УДК 621.879.31

МЕТОДИКА РАСЧЕТА УДАРНОГО МЕХАНИЗМА ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ПРОЧНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННОЙ ЭНЕРГИЕЙ УДАРА

Зедгенизов В.Г., Сеноотрсова Т.А.

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск*

Ключевые слова: эффективность ударного разрушения, повышенная энергия удара, методика расчета.

Аннотация. Цель работы – создание методики расчета основных параметров ударного механизма с повышенной энергией удара. На основе исследований, выполненных ранее на математической модели, определены факторы, влияющие на энергию удара, и получены зависимости основных параметров ударного механизма от массы одноковшового экскаватора. Предложена методика расчета основных параметров ударного механизма.

THE METHOD OF CALCULATING THE IMPACT MECHANISM FOR THE DESTRUCTION OF DURABLE BUILDING MATERIALS WITH INCREASED IMPACT ENERGY

Zedgenizov V.G., Senotrusova T.A.

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk

Keywords: impact destruction efficiency, increased impact energy, calculation method.

Abstract. The purpose of the work is to create a methodology for calculating the basic parameters of an impact mechanism with increased impact energy. Based on the studies performed earlier on a mathematical model, the factors affecting the impact energy were determined and the dependences of the main parameters of the impact mechanism on the mass of a single-bucket excavator were obtained. A method for calculating the basic parameters of the impact mechanism is proposed.

Эффективность разрушения прочных материалов ударным способом определяется энергией единичного удара [1-3]. Нарращивание энергии удара за счет массы и высоты падения ударной части приводит к увеличению массы и габаритов базовых машин. Применение аккумуляторов энергии вызывает реактивную составляющую удара, которая неизбежно передается на базовую машину [4, 5].

Стремление уйти от негативного воздействия реактивной составляющей привело к созданию схемы ударного механизма с аккумулятором энергии, у которого реактивная составляющая удара не передается на базовую машину [6-8].

Исследованиями, выполненными на математической модели, получены зависимости основных параметров ударного механизма от массы одноковшового экскаватора (рис. 1).

На основе полученных зависимостей разработана методика расчета ударного механизма для разрушения прочных строительных материалов с повышенной энергией удара, которая включает в себя следующие основные положения.

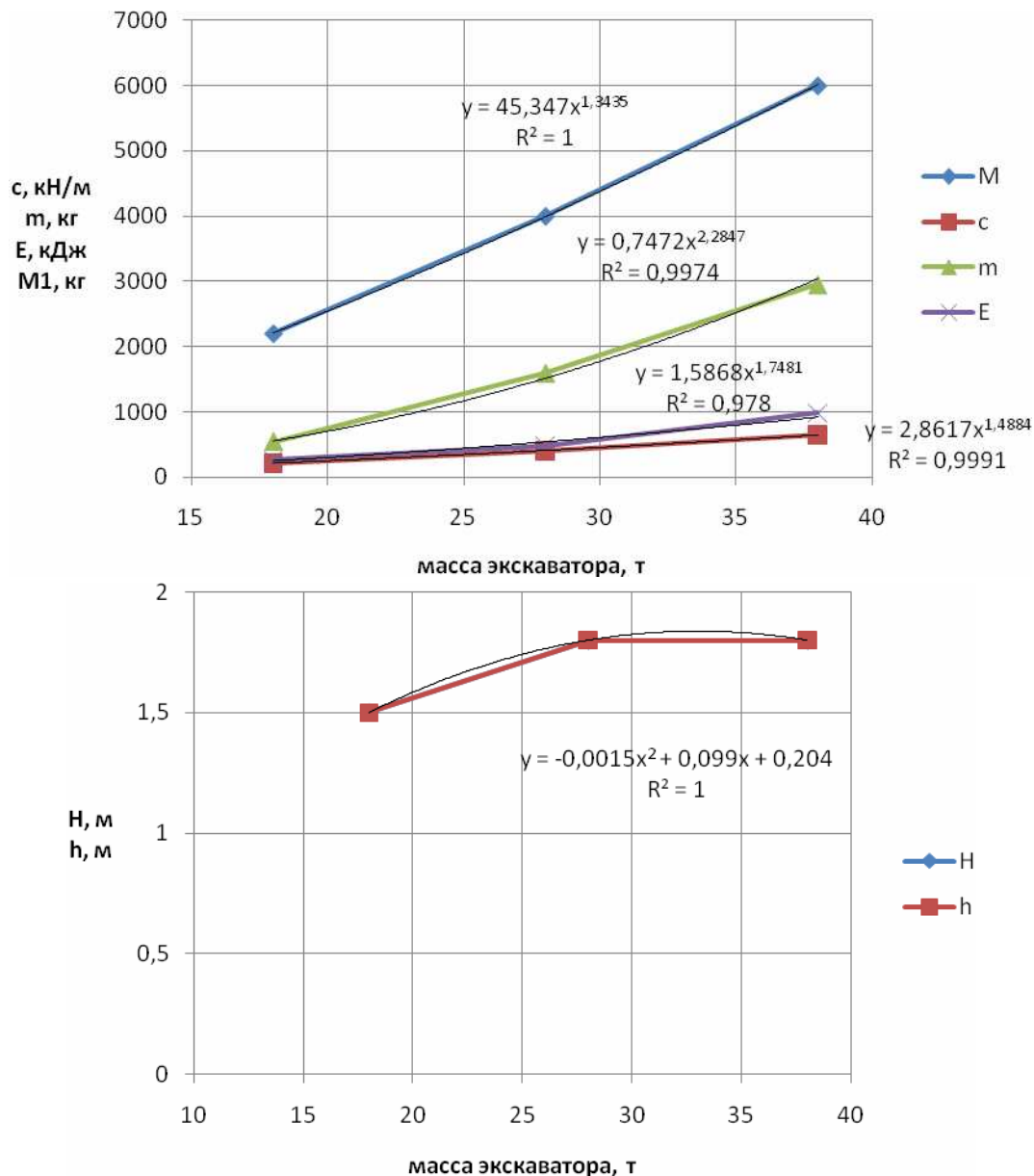


Рис. 1. Зависимость основных параметров ударного механизма от массы одноковшового экскаватора

1. Из условия устойчивости машины в транспортном положении определяется общая масса навесного оборудования:

$$M_1 = 45,35M^{1,34},$$

где M – масса экскаватора, т; M_1 – общая масса навесного оборудования, т.

2. Величина инерционной массы определяется из выражения:

$$m = 0,74M^{2,28},$$

где m – величина инерционной массы, т.

3. Жесткость упругого элемента:

$$c = 2,86M^{1,49}.$$

4. Высота подъема ударной части и предварительного поджатия упругого элемента:

$$H = h = -0,0015M^2 + 0,099M + 0,2.$$

5. Энергия единичного удара:

$$E = 1,59M^{1,75}.$$

6. По найденным значениям основных параметров дальнейший расчет ведется по существующим методикам.

Список литературы

1. Барон Л.И., Веселов Г.М., Коняшин Ю.Г. Экспериментальные исследования процессов разрушения горных пород ударом. – М.: АН СССР, 1962. – 217 с.
2. Афанасьев А.И. Энергоэффективность машин ударного действия // Горное оборудование и электромеханика. – 2002. – №9. – С. 37-39.
3. Чупров И.В. Взаимосвязь удельной энергии разрушения горной породы с энергией единичного удара // Известия вузов. Горный журнал. – 2006. – №5. – С. 66-69.
4. Мельников А.В. Анализ работы молота с пружинным аккумулятором энергии при разрушении негабаритов горных пород // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 11. – С. 43-47.
5. Зедгенизов В.Г., Аль-саккаф Халед Саед Таха. Результаты исследования рабочего процесса ударника для разрушения негабаритов горных пород на математической модели // Вестник ИрГТУ. – 2013. – №7(78). – С. 18-22.
6. Зедгенизов В.Г., Сенотрусова Т.А. Исследование влияния основных параметров на характеристики ударной системы с повышенной энергией удара // Вестник машиностроения. – 2021. – №12. – С. 31-34.
7. Патент №2762133 РФ. Способ взвода и разгона снаряда и установка ударного действия для его реализации / В.Г. Зедгенизов, Д.В. Кокоуров, Т.А. Сенотрусова. – Заявка №2021104652 от 25.02.2021; опубл. 16.12.2021, Бюл. №35.
8. Zedgenizov V.G., Kokourov D.V., Senotrusova T.A. Mathematical modeling of the percussion mechanism with a single impact energy increase // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021, p. 012042.

Сведения об авторах:

Зедгенизов Виктор Георгиевич – д.т.н., профессор кафедры «Строительные, дорожные машины и гидравлические системы»;

Сенотрусова Татьяна Александровна – аспирант.

РЕТРОСПЕКТИВА ИССЛЕДОВАНИЙ, ПОСВЯЩЕННЫХ СОЗДАНИЮ АДАПТИВНЫХ БУРИЛЬНЫХ МАШИН

Теплякова А.В., Матвеева С.А., Жуков И.А.

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

Ключевые слова: бурильная машина, кулачковый механизм, ударный механизм.

Аннотация. Создание адаптивной бурильной машины, способной работать в нескольких режимах и выбирать их автоматически в зависимости от крепости пород, является актуальной задачей на сегодняшний день. В тезисах представлен анализ существующих запатентованных бурильных машин с различными приводными механизмами. Ставятся новые научные задачи исследования адаптивных бурильных машин, содержащих в своей структуре зубчато-кулачковый ударный механизм, реализация которых позволит повысить эффективность бурения.

RETROSPECTIVE OF RESEARCH ON THE CREATION OF ADAPTIVE DRILLING MACHINES

Teplyakova A.V., Matveeva S.A., Zhukov I.A.

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Keywords: drilling machine, cam mechanism, impact mechanism.

Abstract. The creation of an adaptive drilling machine capable of operating in several modes and selecting them automatically depending on the strength of rocks is an urgent task today. The theses present an analysis of existing patented drilling machines with various drive mechanisms. New scientific tasks are being set for the study of adaptive drilling machines containing a gear-cam impact mechanism in their structure, the implementation of which will increase drilling efficiency.

При бурении горной породы в сложных геологических условиях естественно возникает необходимость разрушения объектов различной крепости. В таком случае эффективная эксплуатация одной и той же машины возможна лишь при ее автоматической адаптации к условиям ведения буровых работ. Разработке подобных машин посвящены исследования различных ученых, результатами работ которых стали большинство проанализированных изобретений [1]. Однако стоит отметить, что область применения этих машин всё же ограничена определенным диапазоном значений коэффициента крепости, т.е. они не позволяют реализовать требуемый для разрушения пород высокой крепости режим нанесения мощных ударов с периодическим поворотом инструмента. В связи с этим, несомненно актуальной является задача развития научных принципов и разработки на их основе практических методов создания и исследования зубчато-кулачковых ударных механизмов, позволяющих обеспечить адаптацию бурильной машины к различным эксплуатационным условиям путем автоматического выбора вращательного, вращательно-ударного, ударно-поворотного или ударного бурения.

Одним из вариантов механизма, реализующего поставленную задачу, является ударный механизм по авторскому свидетельству №250812 [2], который позволяет автоматически включать и выключать ударную функцию. Это

достигается за счет применения кулачков с храповыми зубьями, наличие контакта между которыми зависит от величины усилия подачи бурового инструмента.

Для бурения шпуров и скважин в породах различной крепости в 1975 году коллективом авторов из Академии наук Киргизской ССР была создана бурильная машина [3], в которой взвод бойка ударной системы осуществляется с помощью торцового кулачка. При бурении породы малой крепости контакт ролика, соединенного с бойком, и кулачка отсутствует, взвод бойка не происходит, и машина работает в режиме вращательного бурения. При увеличении крепости горной породы происходит поджатие пружины, препятствующей контакту ролика и кулачка, что приводит к подъему бойка и включению в работу ударного механизма – машина начинает работать в режиме ударно-вращательного бурения.

С такой же целью – автоматического регулирования режимов бурения в зависимости от крепости горной породы – была предложена конструкция бурильной машины [4], в которой включение кулачкового механизма, обеспечивающего ударное воздействие на разрушаемый объект, происходит при увеличении крепости породы. Реализация идеи автоматического выбора режима работы обеспечена за счет подвижной в осевом направлении втулки, включающей и выключающей вращение кулачка в зависимости от силы сопротивления породы внедрению инструмента.

По такому же принципу обеспечения автоматического изменения вращательного режима работы бурильной машины на ударно-вращательный были спроектированы механизмы [5-8], в том числе для погружного бурения [7].

Продолжением работ коллектива Академии наук Киргизской ССР стали несколько конструкций бурильных машин с кулачковыми ударными механизмами [9-11], устройство которых обеспечивает не только автоматический выбор того или иного режима бурения, но и позволяет регулировать усилие подачи инструмента в зависимости от крепости разрушаемой породы. Причем, лишь в одном из названных изобретений [10] авторы обращают внимание на геометрию профиля кулачка, обосновывая ее рациональность постоянством момента загрузки привода. Постоянное значение момента при различных величинах усилия взвода бойка обеспечивается подбором переменных значений радиуса профиля и угла подъема кулачка, что позволяет повысить КПД устройства в целом.

В конструкции бурильных машин согласно авторским свидетельствам №1460227 [12] и №1506101 [13] применен кулачок с профилем в виде зубчатой или храповой поверхности. Такой вариант исполнения кулачков позволяет обеспечить автоматическое увеличение ударной осевой нагрузки на забой при увеличении сопротивления разрушаемой породы внедрению бурового инструмента, или вовсе отключать режим ударного воздействия при разрушении материалов малой крепости.

По результатам анализа известных запатентованных машин ударного действия, в структуре которых содержится кулачковый механизм, установлено, что наиболее рациональным видом кулачка, обеспечивающего реализацию ударной нагрузки, является цилиндрический торцовый. Найдено, что одним из вариантов оптимальной геометрии профиля кулачка по критерию максимальной полезной работы, затрачиваемой на взвод толкателя-бойка и накопление энергии

удара, является профиль, образованный на основе кривой, именуемой улиткой Паскаля. Результаты теоретических расчетов подтверждаются вычислительным экспериментом, с помощью которого можно не только оценивать различные профили кулачка, но и определять кинематические и динамические характеристики ударного механизма. Построение и анализ математической модели ударной кулачковой системы с учетом не только геометрии ударяющего тела, но и наличия роликов и характеристики пружины поджатия, позволит установить функциональные зависимости между геометрическими параметрами элементов кулачкового ударного механизма и энергией удара, согласованной с механическими свойствами разрушаемого объекта. Реализация новых, уникальных конструкций кулачковых механизмов в бурильных машинах обеспечит автоматическую адаптацию режимов бурения в зависимости от меняющихся в процессе эксплуатации механических свойств разрушаемой горной породы.

Список литературы

1. Теплякова А.В., Жуков И.А., Мартюшев Н.В. Применение бурильных машин с ударным кулачковым механизмом в различных горно-геологических условиях // Устойчивое развитие горных территорий. – 2022. – Т. 14, №3(53). – С. 501-511. – DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-3-501-511.
2. А.с. №250812 СССР. Ударный механизм / Свищев В.П. – Заявка №1275282/22-3 от 14.10.1968; опубл. 26.08.1969, Бюл. №27.
3. А.с. №471433 СССР. Бурильная машина / Алимов О.Д., Манжосов В.К., Шевченко Б.А. – Заявка №1942681/22-3 от 06.07.1973; опубл. 25.05.1975, Бюл. №19.
4. А.с. №481694 СССР. Бурильная машина / Изюмин Ю.А., Елисеев В.Г., Прохоров А.А., Дмитриев В.С., Юдин Ю.Н., Андриященко В.В., Пшеничный П.В. – №1936346/22-3 от 29.06.1973; опубл. 25.08.1975, Бюл. №31.
5. А.с. №548709 СССР. Электрическая бурильная машина / Алимов О.Д., Манжосов В.К., Шевченко Б.А. – Заявка №1942682/03 от 06.07.1973; опубл. 28.02.1977, Бюл. №8.
6. А.с. №570704 СССР. Электрическая бурильная машина / Алимов О.Д., Манжосов В.К., Шевченко Б.А. – Заявка №2096758/03 от 16.01.1975; опубл. 30.08.1977, Бюл. №32.
7. А.с. №578451 СССР. Погружное устройство для ударно-вращательного бурения / Алимов О.Д., Манжосов В.К., Шевченко Б.А., Воронин Ю.К. – Заявка №2144901/22-03 от 17.06.1975; опубл. 30.10.1977, Бюл. №40.
8. А.с. №582385 СССР. Бурильная машина / Алимов О.Д., Манжосов В.К., Шевченко Б.А. – Заявка №2357665/22-03 от 06.05.1976; опубл. 30.11.1977, Бюл. №44.
9. А.с. №747911 СССР. Бурильная машина / Шевченко Б.А., Джолдошев Н.У. – №2576787/22-03 от 10.02.1978; опубл. 15.07.1980, Бюл. №26.
10. А.с. №750052 СССР. Ударный механизм / Алимов О.Д., Манжосов В.К., Шевченко Б.А. – №2576283/22-03 от 30.07.1978; опубл. 23.07.1980, Бюл. №27.
11. А.с. №844768 СССР. Ударный механизм / Алимов О.Д., Манжосов В.К., Шевченко Б.А., Джолдошев Н.У. – Заявка №2773904/22-03 от 31.05.1979; опубл. 07.07.1981, Бюл. №25.
12. А.с. №1460227 СССР, МК Е21С 3/00. Ударный механизм для бурильных машин / Гой В.Л., Шумов Л.А., Анкудинов Е.П., Шурыгин А.А. – №4177335/22-03 от 08.01.1987; опубл. 23.02.1989, Бюл. №7.
13. А.с. №1506101 СССР. Сверлильная машина / Карандеев Ю.Э., Апраксин И.В. – Заявка №4248641/22-03 от 19.05.1987; опубл. 07.09.1989, Бюл. №33.

Сведения об авторах:

Теплякова Анна Васильевна – студент;

Матвеева Софья Алексеевна – студент;

Жуков Иван Алексеевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой машиностроения.

УДК 623.437.3.093; 629.03; 629.36

УПРАВЛЯЕМЫЙ МЕХАНИЗМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ДЛЯ ТРАНСМИССИИ АКТИВНОГО ПРИЦЕПА-РОСПУСКА

Добрецов Р.Ю.¹, Войнаш С.А.², Ерыгин В.В.³, Соколова В.А.⁴, Кривоногова А.С.⁵

¹*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург;*

²*Казанский федеральный университет, Казань;*

³*Военная академия связи им. С.М. Будённого, Санкт-Петербург;*

⁴*Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна, Санкт-Петербург;*

⁵*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург*

Ключевые слова: трансмиссия, коробка диапазонов, распределение мощности, трактор.

Аннотация. На основе результатов анализа статистических данных обоснована целесообразность использования электромеханического привода для прицепа-ропуска. Предложен состав трансмиссии и принципы определения ключевых параметров управляемого механизма распределения мощности. Приведен пример кинематической схемы управляемого механизма распределения мощности и даны пояснения по его режимам работы.

CONTROLLED POWER DISTRIBUTION MECHANISM FOR THE POWERTRAIN OF AN ACTIVE SINGLE-AXLE TRAILER

Dobretsov R.Yu.¹, Voinash S.A.², Erygin V.V.³, Sokolova V.A.⁴, Krivonogova A.S.⁵

¹*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg;*

²*Kazan Federal University, Kazan;*

³*Military Academy of Communications named after S.M. Budyonny, Saint-Petersburg;*

⁴*Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design,
Saint-Petersburg;*

⁵*Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov,
Saint-Petersburg*

Keywords: powertrain, gearbox, power distribution, tractor.

Abstract. Based on the results of the analysis of statistical data, the expediency of using an electromechanical drive for a trailer is justified. The composition of the powertrain and the principles of determining the key parameters of the controlled power distribution mechanism are proposed. An example of a kinematic scheme of a controlled power distribution mechanism is given and explanations on its operating modes are given.

Анализ статистики режимов работы колесных машин указывает на широкий диапазон изменения условий движения. Характерно также, что около 40% рабочего времени занимает холостой ход – движение без полезной нагрузки.

Следовательно, путем, например, введения гибридной силовой установки, можно оптимизировать загрузку ДВС и при самопередвижении машины запасать энергию в бортовом накопителе [1]. Гибридная установка параллельного типа может быть реализована путем использования активного прицепного звена [4].

Одноосный или двухосный прицеп-ропуск можно оборудовать электромеханической трансмиссией, приводимой от центрального тягового электродвигателя (ТЭД), работающий в паре с двухрежимной коробкой диапазонов [3].

Основой же трансмиссии является управляемый межколесный механизм распределения мощности (МРМ), который обеспечивает согласование кинематики поворота тягача и прицепа при работе его в активном режиме.

Для обеспечения безопасности движения ведущие колеса прицепа должны работать в режиме, близком к нейтральному.

На прицепе придется разместить бортовой накопитель электрической энергии (наиболее перспективны батареи на основе ионисторов), а генераторную установку тягача модернизировать, установив высоковольтный генератор и преобразователь напряжения, обеспечивающий работу низковольтной электрической сети.

Для выбора параметров МРМ предлагается рассмотреть упрощенную схему поворота автопоезда (рис. 1), не учитывающую действие инерционных сил, деформацию колес, скольжение в зоне пятна контакта. В рассматриваемой схеме равномерный поворот происходит на горизонтальной поверхности.

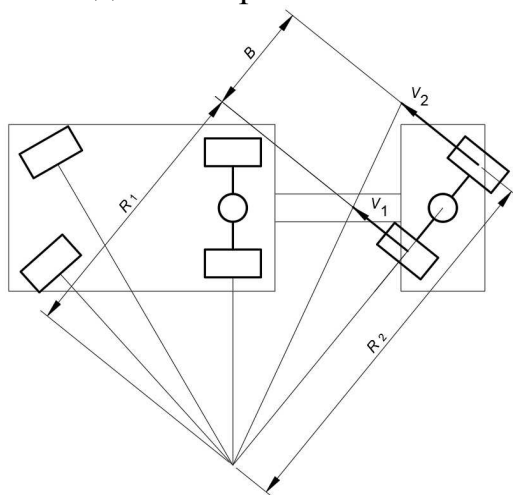


Рис. 1. Расчетная схема поворота автопоезда с одноосным активным прицепом-ропуском

Ключевыми параметрами является набор межбортовых передаточных отношений на характерных режимах работы МРМ. При прямолинейном движении $u_0 = 1$. Поэтому кинематическая схема такого МРМ чаще всего базируется на простом дифференциале или функционально его заменяющем ряде с кинематическим параметром, равным (-2) .

Связать межбортовое передаточное отношение с минимальным относительным радиусом поворота можно, используя зависимости, полученные в работе [2]:

$$u = (\rho + 0,5)/(\rho - 0,5) \text{ и } \rho = 0,5(u + 1)/(u - 1). \quad (1)$$

В соответствии с рисунком 1, можно записать:

$$\rho = R/B, \text{ где } R = (R_1 + R_2)/2, \quad (2)$$

где B – ширина колеи прицепа.

Промежуточные радиусы поворота позволяет получить принцип контролируемого буксования дисковых фрикционных элементов управления (ФЭУ).

Для транспортно-технологических машин востребованным является значение $\rho \in [3,4]$.

На рисунке 2 приведен пример упрощенной кинематической схемы МРМ, реализующего минимальный относительный радиус поворота $\rho=2,78$ ($u(\rho)=1,44$). МРМ интегрирован в состав электромеханической трансмиссии, внутренние передаточные отношения k_1 и k_2 рядов, функционально относящихся к коробке диапазонов, определяются для конкретного ТЭД в соответствии с рекомендациями, например, из работы [3]).

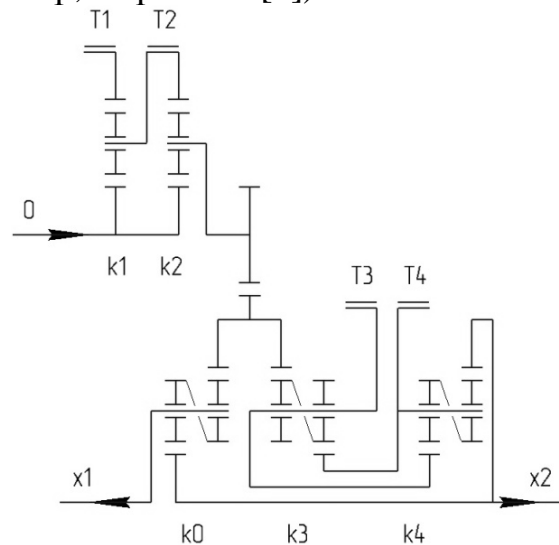


Рис. 2. Вариант кинематической схемы управляемого МРМ в составе трансмиссии: 0, x1 и x2 – ведущее и ведомые звенья; T1...4 и C0,1 – тормоза и муфты; k0, k3, k4 – внутренние передаточные отношения планетарных рядов [4]

Ряд с внутренним передаточным отношением $k_0=2$ работает аналогично простому (симметричному) дифференциалу. Ряды с внутренним передаточным отношением $k_3=2,05$ и $k_4=2,37$ используются для управления распределением мощности между бортами прицепа.

ФЭУ – дисковые тормоза и электромеханическим или гидромеханическим приводом. Рабочие тормоза и колесные редукторы на рисунке 2 условно не показаны.

Режимы работы трансмиссии приведены в таблице 1.

Табл. 1. Режимы работы трансмиссии

№	Название режима	Состояние трансмиссии
1	Стоянка	Заблокирована включением T_0 и C_0 .
2	Нейтраль	Все ФЭУ отключены.
3	Прямолинейное движение	Включен C_0 .
4	Поворот с текущим радиусом	Полностью включен C_0 . T_3 или T_4 используется в режиме управляемого буксования
5	Поворот с фиксированным радиусом	Включены C_0 и T_3 или T_4 (в зависимости от направления поворота).

Представленные режимы работы трансмиссии могут быть использованы для транспортно-технологических машин с целью обеспечения безопасности движения.

Список литературы

1. Поршнев Г.П., Добрецов Р.Ю., Красильников А.А. Трансмиссия с электромеханической передачей для тракторов и дорожно-строительных машин // Известия МГТУ-МАМИ. – 2020. – №2 (44). – С. 33-41.
2. Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Галактионов О.Н. Техническое оснащение современных лесозаготовок. – СПб.: Профи-Информ, 2005. – 344 с.
3. Патент №2763002 РФ. Механизм распределения мощности в трансмиссии транспортного средства / Р.Ю. Добрецов, А.Г. Семенов, А.И. Васильев, А.О. Канинский, И.А. Комаров, Д.Э. Телятников. – Заявка №2021124995 от 23.08.2021; опубл. 24.12.2021, Бюл. №36.
4. Шеломов В.Б. Теория движения многоцелевых гусеничных и колесных машин. Тяговый расчет криволинейного движения: учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 90 с.

Сведения об авторах:

Добрецов Роман Юрьевич – д.т.н., доцент, профессор Высшей школы транспорта;

Войнаш Сергей Александрович – ведущий инженер научно-исследовательской лаборатории «Интеллектуальная мобильность»;

Ерыгин Вадим Викторович – преподаватель кафедры технического обеспечения связи и автоматизации;

Соколова Виктория Александровна – к.т.н., доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств;

Кривоногова Александра Станиславовна – к.т.н., доцент кафедры прикладной механики и инженерной графики.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ ВИНТОВЫМ ОБЖАТИЕМ

Балобанов Н.А., Дементьев В.Б., Макаров С.С.

*Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения
Российской академии наук, Ижевск*

Ключевые слова: деформация, упрочнение, винтовое обжатие, автоматизация, комплекс.

Аннотация. Рассматривается автоматизированный комплекс термомеханической калибровки винтовым обжатием с применением технологии высокотемпературной термомеханической обработки. Приводится конструктивная схема автоматизированного комплекса. Описаны основные задачи, решаемые автоматизированным комплексом при обработке металлических заготовок. Приведены типовые изменения силовых показателей при обработке цилиндрической заготовки из конструкционной стали.

AUTOMATED COMPLEX OF THERMOMECHANICAL CALIBRATION BY SCREW COMPRESSION

Balabanov N.A., Dementyev V.B., Makarov S.S.

*Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of
Sciences, Izhevsk*

Keywords: deformation, hardening, screw compression, automation, complex.

Abstract. An automated complex for thermomechanical calibration by screw compression using high-temperature thermomechanical processing technology is considered. The constructive scheme of the automated complex is given. The main tasks solved by the automated complex in the processing of metal blanks are described. Typical changes in force indicators are given when processing a cylindrical billet made of structural steel.

Для решения технологических задач по оптимизации режимов высокоточного упрочняющего формообразования винтовым обжатием методом высокотемпературной термомеханической обработки [1, 2] и проведения исследований влияния значения технологических параметров на конечные качественные показатели упрочненной продукции создан автоматизированный контрольно – измерительный комплекс термомеханического упрочнения (рис. 1). Комплекс позволяет:

- 1) контролировать изменения крутящего момента, осевой силы деформирования заготовки и удержания оправки, радиальной силы, скорость вращения и осевую скорость движения по всему технологическому циклу обработки;
- 2) обеспечивать заданные силовые характеристики процесса, управляя скоростями вращения и линейной подачи.
- 3) задавать требуемый характер изменения скорости вращения и линейной подачи;
- 4) обеспечить требуем теплосъем, управляя температурой и расходом охлаждающей жидкости в спрейере.

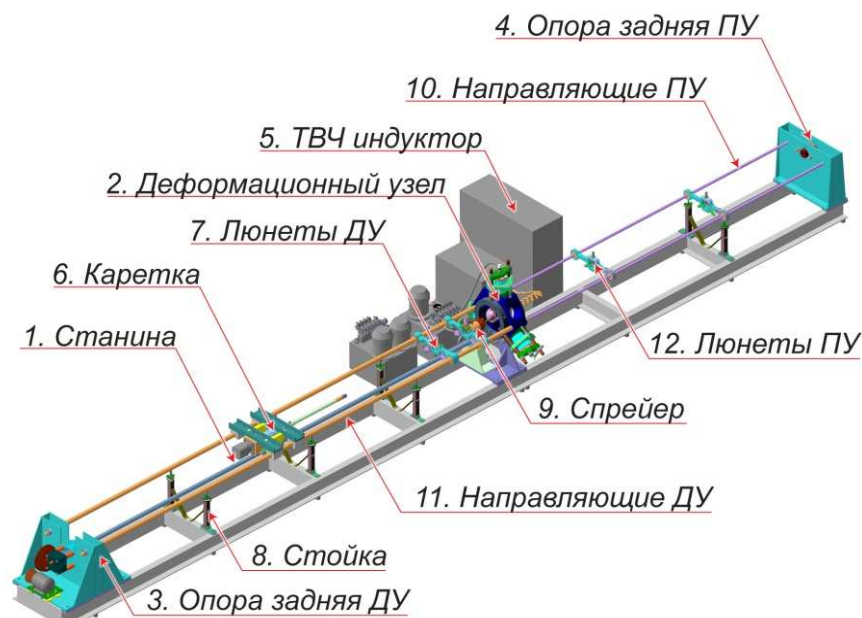


Рис. 1. Схема автоматизированного комплекса термомеханической калибровки винтовым обжатием

В процессе обработки важным является реализация поиска оптимальных силовых показателей на конечные качественные показатели упрочненной продукции [3, 4].

На рисунке 2 графически показано как изменяется осевая сила на заготовке F , силы прижима роликов к заготовке F_1 , F_2 , F_3 , и осевая сила на каретке F_c в зависимости от позиции заготовки в комплексе при обработке цилиндрической заготовки из конструкционной стали [5].

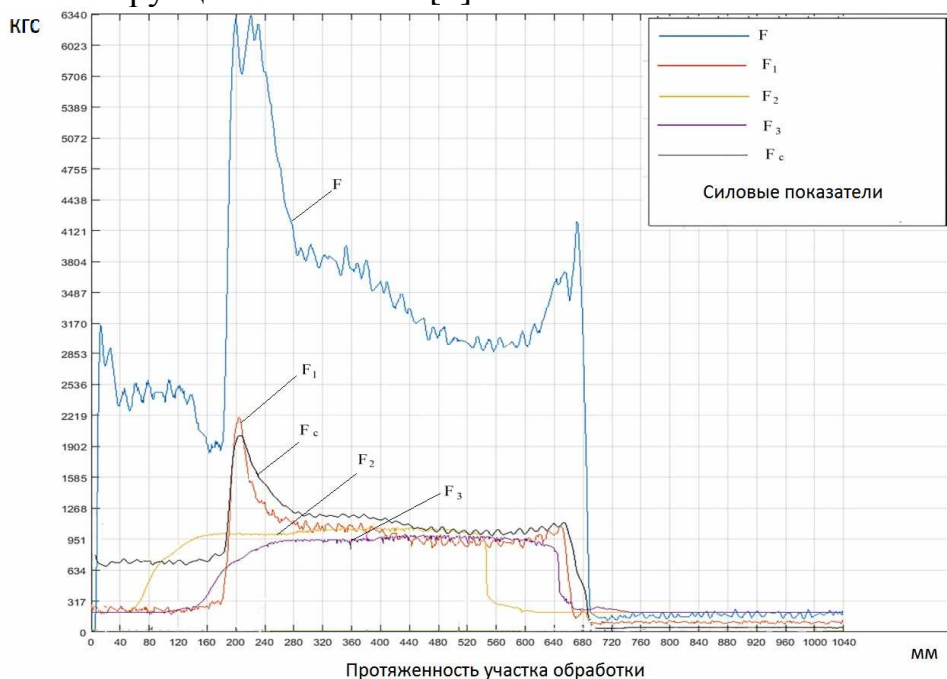


Рис. 2. Силовые параметры обработки заготовки

Анализ изменения силовых показателей показал, что колебания осевой силы на участке от 0 мм до 200 мм связаны с переходными процессами начала обработки заготовки. Работа деформирующих роликов отражена на участке от 200 мм до 280 мм. Здесь видно, что осевое усилие перемещения каретки

значительно возрастает. Осевое усилие снижается на участке от 280 мм до 600 мм по мере снижения интенсивности пластической деформации. Возрастание осевого усилия на участке от 600 мм до 680 мм связано с охлаждением заготовки через торцевую поверхность и контактным нагревом деформирующих роликов от заготовки. На заключительном участке обработки от 680 мм до 1040 мм происходит спад осевой силы и окончание деформации. Далее заготовка перемещается в зону спрейерного охлаждения.

Разработанное оборудование позволяет отработать методику исследования влияния основных технологических параметров на показатели качества изделия, провести исследования по определению рабочих нагрузок при различных кинематических схемах для получения требуемых характеристик упрочненных изделий.

Список литературы

1. Бернштейн М.Л., Займовский В.А., Капуткина Л.М. Термомеханическая обработка стали. – М.: Металлургия, 1983. – 480 с.
2. Трухачев А.В., Ильина А.Н., Щуклин А.Г. Исследование структурных изменений при горячей деформации кручением // Повышение прочности и долговечности деталей машин. – Ижевск, 1974. – С. 113-122.
3. Маркова Е.С., Покровская Н.Г., Шалькевич А.Б., Громов В.И. Мартенситостареющие стали – новые перспективные материалы для валов ГТД // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – №5. – С. 81-84.
4. Шаврин О.И., Дементьев В.Б., Иванов В.А. Методика исследования деформированного состояния цилиндрических образцов методом стержней // Заводская лаборатория. – 1983. – №12. – С. 65-66.
5. Балобанов Н.А., Дементьев В.Б., Макаров С.С., Коршунов А.И. Многофункциональный научно-исследовательский комплекс термомеханической калибровки винтовым обжатием // Актуальные проблемы науки и техники: Материалы I Международной научно-технической конференции. – Ижевск: Изд-во УИР ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2021. – С. 176-180.

Сведения об авторах:

Балобанов Никита Алексеевич – младший научный сотрудник;

Дементьев Вячеслав Борисович – д.т.н., руководитель института механики;

Макаров Сергей Сергеевич – д.т.н., ведущий научный сотрудник.

ГИБРИДНЫЙ АВТОМОБИЛЬ

Хадеев Р.Г.

Обнинск

Ключевые слова: планетарный дифференциал, генератор тока, крутящий момент, передаточное отношение.

Аннотация. В статье предложена конструкция простой электромеханической трансмиссии позволяющей во всём диапазоне движения, в автоматическом режиме изменять крутящий момент и передаточное отношение на ведомом валу. Она позволяет приводному двигателю на всех режимах движения от момента старта, работать на оптимальных оборотах при полной отдаче мощности. Применение такой трансмиссии на гибридном транспорте наиболее экономически выгодно и позволяет преодолеть и упростить некоторые сложные элементы технологических решений.

HYBRID CAR

Khadeev R.G.

Obninsk

Keywords: planetary differential, current generator, torque, transfer ratio.

Abstract. The article proposes the design of a simple electromechanical transmission that allows, in the entire range of motion, to automatically change the torque and gear ratio on the driven shaft. It allows the drive motor in all driving modes from the moment of start to operate at optimal speed with full power output. The use of such a transmission in hybrid vehicles, is the most cost-effective and allows overcoming and simplifying some of the complex elements of technological solutions.

В России несколько заводов начали производство электромобилей. Но, наверное, долгие годы будут проблемы с зарядкой. Тяжелые, дорогие аккумуляторы с небольшим ресурсом и явно недостаточной ёмкостью – ещё одна проблема. То же самое можно сказать про водородные электромобили. В Китае, при плотной застройке, быстрое развитие электротранспорта конечно оправдано, в Европе наверное тоже. Там можно за пару десятков лет организовать сеть заправок. Но в России, на бескрайних просторах иногда и сейчас бензозаправку то не всегда по дороге найдешь. Получается, что у нас лучший вариант – гибридный транспорт. Такова реальность. Конечно, электротранспорт будет развиваться в первую очередь в городах, в мегаполисах, возможно как коммерческий, служебный, общественный. Но для потребителя он долго не станет достаточным по его потребностям. Создать полноценный гибрид можно, используя предлагаемую ниже схему. Можно использовать серийный автомобиль, убрать коробку скоростей, механизм сцепления, генератор и стартер, заменив всё блоком, состоящим из генератора соединенного с планетарной передачей и электродвигателем, которые расположены на общем валу с мотором. Способ получения эффективного результата по управлению крутящим моментом описан в [1]. Такое устройство позволит выполнять все функции необходимые для эксплуатации автомобиля с функцией повышенной экономичности. Не станет он и непосильно дорогим и технологически сложным. Такое устройство

управления крутящим моментом ранее было описано в [2]. Схема трансмиссии показана на рисунке 1.

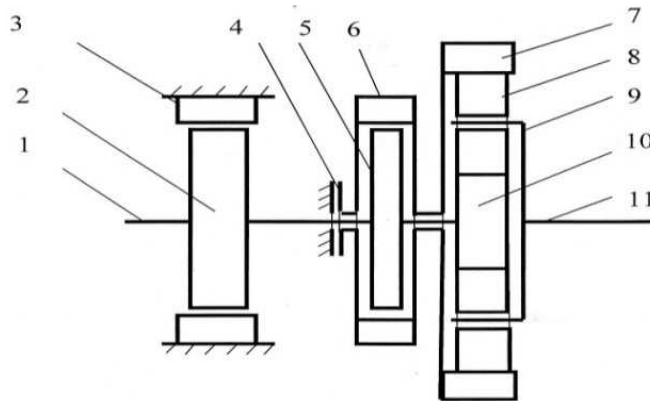


Рис. 1. Схема трансмиссии: 1 – вал привода; 2 – ротор электродвигателя; 3 – статор электродвигателя; 4 – муфта; 5 – ротор генератора; 6 – статор генератора; 7 – венцы планетарного дифференциала; 8 – сателлиты; 9 – водило; 10 – центральное колесо; 11 – ведомый вал

Вал привода 1 соединен с установленными на нем ротором электродвигателя 2, ротором генератора 5 и центральной шестерней планетарного дифференциала 10. Один выход дифференциала, его водило 9 с сателлитами 8, соединен с ведомым валом 11 и передает на вал вращение, а второй выход дифференциала, его венцы 7 свободно вращаются на валу привода и соединены со статором генератора 6. Статор генератора 6 и его ротор 5 образуют машину двойного вращения. При необходимости второй выход дифференциала и соединенный с ним статор, могут фиксироваться муфтой 4, соединяющей его с корпусом. Статор электродвигателя 3 установлен на корпусе и соединен с ним. При вращении вала привода 1, водило 9 вращается в ту же сторону, но увеличивает крутящий момент и уменьшает обороты ведомого вала 11 пропорционально передаточному отношению планетарного дифференциала. Второй выход дифференциала, его венцы 7, стремятся вращаться в обратную сторону, но если в цепи генератора есть электрическая нагрузка, то возникает электроиндукционная сила, увлекающая статор 6 за ротором 5 и частично блокирует дифференциал, увеличивая скорость вращения ведомого вала 11. При увеличении нагрузки на ведомом валу, он тормозится, скольжение между ротором и статором увеличивается. Выход, соединенный со статором генератора замедляет вращение, даже останавливается и вращается в обратную сторону, а крутящий момент в большей степени передается через шестерни дифференциала, передаточное отношение и крутящий момент на ведомом валу увеличивается. Когда ведомый вал не вращается, статор генератора вращается в обратную сторону, а на ведомом валу максимальный крутящий момент. Если статор зафиксирован с корпусом, генератор может работать как дополнительный электродвигатель.

Электрический ток от генератора поступает на потребители транспортного средства, в том числе на ротор электродвигателя 2, который совместно с мотором вращает вал привода 1, компенсируя его затраты на производство электрического тока, вырабатываемого при работе трансмиссии. Управление мощностью на ведомом валу производится управлением тока вырабатываемого генератором.

При увеличении сопротивления движению, увеличивается ток нагрузки в цепи генератора, увеличивается мощность на валу привода, а обороты удерживаются постоянными и оптимальными. Так как удобнее всего будет использовать силовую связь генератора и двигателя внутри вала, без скользящих элементов для снятия тока, то управление можно производить при помощи устройства, находящегося на валу привода, с дистанционным управлением любым известным способом, например при помощи эффекта Холла.

В экономическом плане такая трансмиссия более энергосберегающая, чем известные сейчас наиболее технологичные автомобильные трансмиссии [2]. Современные генераторы такой мощности имеют КПД 85 процентов, это значит, что потери мощности мотора не превысят четырех процентов. Это меньше, чем теряется на механической или автоматической трансмиссии. Крутящий момент такого дифференциала ограничен. Достичь максимальной его величины можно при условии, когда венец и центральное колесо взяты в соотношении 1,618.. Менее всего хочется обвинений в конспирологии, но это число Фибоначчи (ϕ), а соотношение является золотым сечением. При таком соотношении чисел зубьев шестерен венца ($z_{в.}$) и центрального колеса ($z_{ц.к.}$) передаточное отношение планетарной передачи на ведомый вал $i_{водила}$:

$$i_{водила} = 1 + z_{в.}/z_{ц.к.} = 2,618...$$

Крутящий момент может увеличиваться до этой величины от величины момента на валу привода. Но энергия вала привода делится на водило и на венец, и от центрального колеса на венец действует момент в обратную сторону с передаточным отношением:

$$i = -z_{в.}/z_{ц.к.} = -1,618...$$

Венец же передает на водило вращение от силы, увлекающей статор за ротором генератора, который соединен с валом привода, действующей в направлении вращения вала привода. Её величина может быть определена через передаточное отношение $i_{в.}$:

$$i_{в.} = 1 + z_{ц.к.}/z_{в.} = 1 + 1/1,618... = 1 + 0,618.. = 1,618...$$

Эта сила противодействует обратному моменту и уравнивает его, что позволяет получить на ведомом валу крутящий момент в 2,6 раза превышающий момент на валу привода. При увеличении передаточного числа планетарной передачи, на ведомом валу максимальный крутящий момент уменьшается, а при выбранном соотношении, соответствующем числу ϕ баланс сил в планетарном дифференциале, для обеспечения передачи крутящего момента на ведомый вал, соблюдается. Если соотношение шестерен венца и центральной шестерни, для примера, установить равным двум, то передаточное отношение на водило будет равно трем. Но на ведомом валу крутящий момент не увеличится, а уменьшится, потому что на венец передаточное отношение увеличится до двух, а от венца уменьшится до полутора, и это приведет к уменьшению передаточного отношения на ведомый вал до двух с четвертью. При старте транспортного средства с такой трансмиссией, мотор работает в оптимальном режиме, отсутствует механизм сцепления, да и электродвигатель добавит ещё одну третью часть от мощности мотора. Это вполне обеспечивает преимущество. Конструктивно такое устройство может быть исполнено иначе. Например, в

конструкцию может быть добавлен планетарный ряд для включения заднего хода от мотора (а не от электродвигателя, как в предыдущем варианте), можно применить схему, показанную на рисунке 2. Это не сильно удорожает конструкцию, но повышает универсальность гибрида.

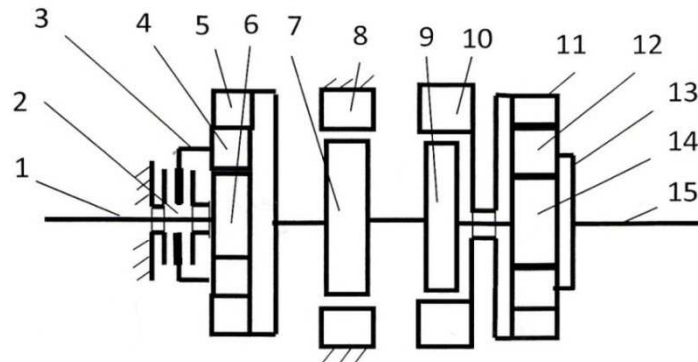


Рис. 2. Схема: 1 – вал привода; 2 – муфта; 3 – водило планетарной передачи; 4 – сателлиты; 5 – венец; 6 – центральная шестерня; 7 – ротор электродвигателя; 8 – статор электродвигателя; 9 – ротор генератора; 10 – статор генератора; 11 – Венец дифференциала; 12 – сателлиты; 13 – водило дифференциала; 14 – центральная шестерня; 15 – ведомый вал

Этот механизм работает так же как показано в [3], но его функции расширены. Вал двигателя 1 соединен с центральным колесом планетарной передачи 6, которое посредством муфты 2 имеет возможность быть зафиксированным с водилом 3, для блокирования работы планетарной передачи. При этом вращение передается через сателлиты 4 на венец 5. Муфта 2 имеет нейтральное положение, при котором водило 3 с сателлитами 4 свободно вращается на валу. При этом мотор не соединен с трансмиссией и крутящий момент на ведомый вал не передается. Этот режим может использоваться для передвижения на электрической тяге и рекуперации при торможении. Также муфта 2 имеет возможность соединять водило с корпусом, вращение ведомого вала изменяется на обратное, для движения в обратном направлении. С венеца планетарной передачи 5 вращение передается на ротор электродвигателя-генератора 7, статор которого 8 установлен на корпусе, на ротор генератора 9, статор которого 10 соединен с венцом планетарного дифференциала 11 (он свободно вращается на валу), и на центральное колесо планетарного дифференциала 14. При вращении вала, и при наличии в цепи генератора электрической нагрузки, между статором и ротором возникает сила Ампера, увлекающая статор за ротором и частично блокирующая дифференциал. Крутящий момент передается на водило 13 и на ведомый вал 15. Режим, когда муфта соединяет мотор с выходом, а в цепи генератора тока нет, может использоваться для зарядки батареи при стоянке, электродвигатель выполняет функцию генератора. При торможении муфта отключает мотор, а электродвигатель и генератор участвуют в рекуперации тока. Управляя током в цепи генератора, можно использовать такую трансмиссию как антиблокировочную и антипробуксовочную систему. Для этого нужно предусмотреть возможность кратковременного отключения генератора от электрической нагрузки в его цепи по сигналу от датчика. Экономия энергии при

эксплуатации транспорта с таким устройством осуществляется тем, что двигатель от старта всегда работает на оптимальных оборотах, меньше потери на трансмиссии, происходит возврат энергии при торможении. А также для того, чтобы во время движения по трассе сэкономить энергию необходимо перевести некоторые потребители, например кондиционер, турбонагнетатель, компрессор, на электрический привод. Такая трансмиссия вполне может быть установлена и на транспортное средство, не считающееся гибридным, для упрощения конструкции и повышения экономичности, с мотором любого типа.

Список литературы

1. Хадеев Р.Г. Трансмиссия для электротранспорта // «EurasiaScience» XLVII Международная научно-практическая конференция. – М.: Научно-издательский центр «Актуальность.РФ», 2022. – С. 89-92.
2. Хадеев Р.Г. Трансмиссия для гибрида // Сборник научных статей по материалам IX Международной научно-практической конференции. – Уфа: Изд. НИЦ Вестник науки, 2022. – С. 28-32.
3. Хадеев Р.Г. Электромеханическая трансмиссия // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2022. – №33. – С. 73-76.

Сведения об авторе:

Хадеев Равиль Гафиевич – к.т.н.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДБОРУ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ДЛЯ НЕФТЕЗАВОДСКИХ ПЕЧЕЙ

Катин В.Д., Журавлев А.А.

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск

Ключевые слова: трубчатые нефтезаводские печи, сжигание топлива, вторичные энергоресурсы, утилизация теплоты уходящих дымовых газов, котлы-утилизаторы, воздухоподогреватели.

Аннотация. В работе проанализированы действующие на нефтеперерабатывающих заводах устройства для утилизации вторичных тепловых энергоресурсов. Приведены обоснованные рекомендации по выбору эффективных и рациональных конструкций установок в целях утилизации теплоты уходящих продуктов сгорания нефтезаводских трубчатых печей. Предложены новые устройства для сжигания топлива с использованием теплоты выбрасываемых дымовых газов печных агрегатов.

PRACTICAL RECOMMENDATIONS FOR THE SELECTION OF RATIONAL DESIGNS OF AIR HEATERS FOR OIL REFINERY FURNACES

Katin V.D., Zhuravlev A.A.

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk

Keywords: tubular refinery furnaces, fuel combustion, secondary energy resources, waste heat recovery, waste heat boilers, air heaters.

Abstract. The paper analyzes the devices operating at oil refineries for the utilization of secondary thermal energy resources. Substantiated recommendations are given on the choice of efficient and rational designs of installations for the purpose of utilizing the heat of the outgoing combustion products of oil refinery tube furnaces. New devices for fuel combustion using the heat of flue gases emitted from furnace units are proposed.

Действующие на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) трубчатые печи являются головными аппаратами технологических установок и основными потребителями топлива. В них сжигается примерно 6-8% газообразного и жидкого топлива от общего количества перерабатываемой нефти [1, 2]. Однако, до настоящего времени уровень проектных решений и техническое состояние печного парка в том числе теплоутилизационного оборудования не в полной мере соответствует современным экологическим требованиям. В то же время нельзя не отметить приоритетную задачу по стабилизации топливно-энергетического комплекса страны – разработку и внедрение новых ресурсосберегающих и энергоэффективных установок на НПЗ [3].

В связи с этим одной из причин низкого коэффициента полезного использования топлива на НПЗ является недостаточное применение тепловых вторичных энергоресурсов (ВЭР), основным источником которых является теплота уходящих продуктов сгорания трубчатых печей. На отечественных НПЗ применяются два основных метода утилизации уходящих продуктов сгорания: установка котлов-утилизаторов (КУ) и воздухоподогревателей (ВП). При этом

КУ для выработки пара целесообразно использовать для утилизации уходящих газов с температурой не менее 500°C и с расходом не более $40000 \text{ м}^3/\text{ч}$ [1]. Наиболее распространены на НПЗ трубчатые воздухоподогреватели (ТВП), которые применяются при температуре уходящих газов менее 400°C [1, 2].

В настоящее время НПЗ эксплуатируются ТВП следующих конструкций:

- стальные ТВП конструкции ВНИПИнефть с предварительным подогревом холодного воздуха в калориферах;
- трубчатые типа ВТР конструкции ВНИИнефтемаша, работающие с рециркуляцией части (до 40%) горячего воздуха;
- комбинированные ТВП из чугунных ребристых и ребристо-зубчатых труб конструкции Башоргэнергонефть (БОЭН).

Технические характеристики и устройств перечисленных типов ТВП подробно описаны в работах [1, 4]. Опыт эксплуатации данных ВП показал, что они имеют существенные недостатки. Рекуператоры типа ВТР и конструкции ВНИПИнефть на отдельных установках ряда НПЗ имеют незначительный срок эксплуатации 1-1,5 года и менее из-за серноокислотной коррозии. Следует также отметить, что конструкции ВНИПИнефть к тому же не эффективны, поскольку требуют установки дополнительного теплообменника (калорифера).

Опытные образцы ТВП типа БОЭН по данным исследований [4] подтвердили достаточную их надежность в эксплуатации. Однако широкое применение их на НПЗ сдерживается из-за значительных габаритных размеров, их большого веса и высокой стоимости.

В последнее время поднимается вопрос о возможности применения ВП, работающих по принципу термосимифонов (тепловых труб). Один из первых подобных ВП был смонтирован на установке риформинга Новополоцкого НПЗ. ВП на тепловых трубах отличаются коррозионной стойкостью, но требуют тщательной дегазации промежуточного теплоносителя, в связи с этим возможности их широкого распространения в отрасли представляются проблематичными [1].

Практический интерес могут иметь ВП с секциями из стеклянных труб, нашедшие применение в энергетике [4]. В этих ВП воздух движется по трубам, а дымовые газы движутся в межтрубном пространстве. Существенным недостатком таких ВП является невысокий коэффициент теплоотдачи, что ведет к увеличению их поверхности нагрева. Следует также учитывать, что стоимость стеклянных труб значительно выше стальных, а прочность намного ниже.

Кроме того, следует отметить, что за рубежом на НПЗ и в отечественной энергетике нашли применение регенеративные вращающиеся ВП, которые показали высокую эффективность работы. Характеристика этих ВП, а также результаты их исследований приведены в работах [1-3]. Они имеют достаточно высокий коэффициент теплоотдачи по сравнению с ТВП, а их металлоемкость примерно в 3,5 раза меньше, чем у ТВП.

Таким образом, низкая металлоемкость подобных ВП и компактность по сравнению с ТВП позволяет рекомендовать их для применения на НПЗ. Данное обстоятельство подтверждает целесообразность проектной разработки

вращающихся ВП для нефтезаводских печей и освоения серийного производства указанных ВП на заводах Минхинефтемаша с дальнейшим внедрением на НПЗ.

Заслуживает также внимания и практического интереса авторские инновационные технические разработки устройства для сжигания топлива в печах НПЗ с использованием теплоты уходящих дымовых газов, подробно описанные в патентах [5, 6]. Предлагаемые к применению установки отличаются от известных аналогов новизной конструкции и экологическим эффектом.

Список литературы

1. Жидков А.Б. Трубчатые нагревательные печи нефтепереработки и нефтехимии. – СПб.: Артпроект, 2015. – 104 с.
2. Колмогоров А.Н., Катин В.Д. Проектирование высокоэффективных печных агрегатов для НПЗ. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2005. – 88 с.
3. Катин В.Д., Вольхин И.В. Малоотходные и энергосберегающие технологии сжигания топлива на НПЗ. – Владивосток: Дальнаука, 2013. – 199 с.
4. Добряков Т.С. Воздухоподогреватели котельных установок. – СПб.: Энергия, 2007. – 184 с.
5. Патент №187320 РФ. Устройство для сжигания жидкого топлива / В.Д. Катин, В.И. Нестеров. – Оpubл. 01.03.2019, Бюл. № 7.
6. Патент №207269 РФ. Устройство для сжигания жидкого топлива / А.А. Журавлев, В.Д. Катин. – Оpubл. 21.10.2021, Бюл. №30.

Сведения об авторах:

Катин Виктор Дмитриевич – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Техносферная безопасность»;

Журавлев Александр Александрович – аспирант.

УДК 502(175.8)

АВТОРСКИЕ ЗАПАТЕНТОВАННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ГРУППОВЫХ ЦИКЛОНОВ-ЗОЛОУЛОВИТЕЛЕЙ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Катин В.Д., Журавлев А.А.

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск

Ключевые слова: предприятия железнодорожного транспорта, угольные котельные, очистка дымовых газов, групповые циклоны-золоуловители, снижение выбросов мелкодисперсных золовых частиц, охрана атмосферного воздуха.

Аннотация. В работе проанализированы методы и устройства для улавливания твердых частиц в дымовых газах при сжигании углей в котельных на предприятиях железнодорожного транспорта. Дан анализ обеспеченности котельных золоочистными установками на железнодорожном транспорте. Описаны конструкция и принцип работы группового циклона для улавливания золы и очистки дымовых газов. Разработаны и рекомендованы к применению новые конструкции групповых циклонов-золоуловителей, защищенные патентами на полезные модели.

AUTHOR'S PATENTED DESIGNS OF GROUP CYCLONE-ASH COLLECTORS FOR COAL-FIRED ENTERPRISES OF RAILWAY TRANSPORT

Katin V.D., Zhuravlev A.A.

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk

Keywords: railway transport enterprises, coal-fired boilers, flue gas cleaning, group cyclone ash collectors, reduction of emissions of fine ash particles, air protection.

Abstract. The paper analyzes methods and devices for trapping solid particles in flue gases during coal combustion in boiler houses at railway transport enterprises. The analysis of the provision of boiler houses with ash cleaning plants in railway transport is given. The design and operation principle of a group cyclone for ash collection and flue gas cleaning are described. New designs of group cyclones-ash collectors, protected by utility model patents, have been developed and recommended for use.

По данным [1, 2] на предприятиях ОАО «Российские железные дороги» («РЖД») эксплуатируется около пяти тысяч установок газоочистки и золоулавливания. Для улавливания твердых частиц используются циклоны (около 90% всех агрегатов), работающие по методу сухой очистки. Остальные 10% составляют установки жидкой и каталитической очистки. Обеспеченность котельных пыле- и золоочистными устройствами на предприятиях ОАО «РЖД» показаны в таблице 1.

Применительно к отопительным котельным очистка дымовых газов наиболее эффективна и практически целесообразна для улавливания твердых частиц (золы и сажи). В стадии опытно-промышленного внедрения находятся методы очистки от оксидов азота и серы и других вредных примесей.

Табл. 1. Обеспеченность пыле- и золоочистными устройствами котельных на предприятиях железнодорожного транспорта

Наименование предприятия	Обеспеченность очистными устройствами, %
Вагонные депо	1,8
Локомотивное депо	4,6
Дистанции гражданских сооружений	7,8
Заводы по ремонту подвижного состава	37,2
Шпалопропиточные и щебеночные заводы	39,6
Прочие	10,0

Известно, что очистка продуктов сгорания от золы производится в том случае, когда соблюдается условие [3].

$$A^p \cdot B > 5000,$$

где A^p – зольность топлива, %;

B – максимальный часовой расход топлива, кг.

В качестве золоуловителей на предприятиях железнодорожного транспорта (ЖДТ) применяются [2, 3]:

– групповые циклоны ЦКТИ или НИИОГаз при объеме уходящих газов от 5000 до 20000 м³/ч. Коэффициент очистки – не менее 85-90%;

– батарейные циклоны при объеме уходящих газов от 15000 до 150000 м³/ч (в отопительных котельных с количеством котлов более 5). Коэффициент очистки ниже 85-90%. Все котельные, работающие на угле, должны оборудоваться устройствами золоочистки. В действительности, на многих котельных предприятия ЖДТ, имеющих 2-3 котла, золоуловители отсутствуют [2].

Выбор типа очистного оборудования для котельных ЖДТ зависит от качественных и количественных показателей запыленности воздуха. В зависимости от структуры технологического процесса и требований к качеству очищаемых газов могут использоваться одна, две и более ступеней очистки. Более подробно устройства пыле- и золоочистки и их технические характеристики описаны в работах [1-3].

Циклонные пылеуловители являются наиболее распространенным видом золоочистного оборудования, что объясняется простотой их конструкции, надежностью в эксплуатации, небольшими затратами на изготовление. По данным [3] групповые циклоны золоуловители применяются для очистки газов больших объемов, а также с целью повышения степени очистки. Циклонные элементы с винтовым и спиральным входом газа, а также элемент прямоточного типа в групповом циклоне соединяются параллельно. Групповые циклоны имеют подводящий коллектор, через который запыленный газ распределяется по отдельности в каждый циклон. На выходе очищенный газ собирается в общий сборник, который выполняется в виде камеры прямоугольной формы, а также может иметь вид улиток, соединенных затем с общим газоходом. Групповой циклон имеет общий бункер для сбора уловленных твердых частиц и выхлопные трубы для отвода очищенных газов.

Техническое решение, описанное в патенте [4], заключается в создании группового циклона, который позволяет повысить степень очистки пылегазовых потоков за счет удаления мелкой дисперсной фазы пыли и уменьшить загрязнение атмосферы.

Циклон для очистки газов (рис. 1) содержит подводящий коллектор, общую камеру для очищенного газа с газоходом, общий бункер для сбора уловленной пыли, циклонные элементы, содержащие вертикальный цилиндрический корпус с коническим днищем, снабженный штуцером для удаления пыли, выхлопную трубу, штуцер для подачи в аппарат запыленного газового потока, расположенный тангенциально к корпусу.

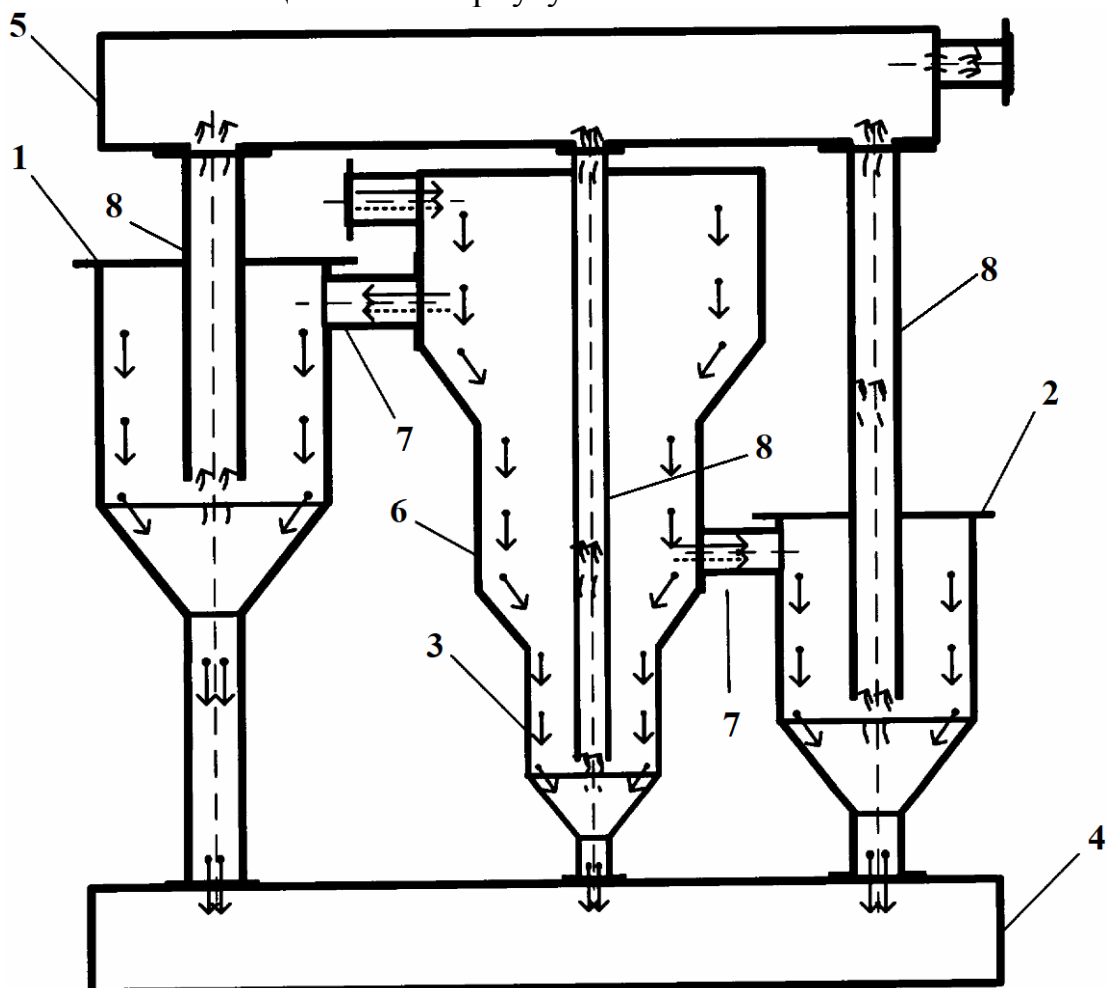


Рис. 1. Групповой циклон новой конструкции для очистки дымовых газов от золы:
1 – циклон 2-й ступени; 2 – циклон 3-й ступени; 3 – малый бункер;
4 – нижний коллектор; 5 – верхний коллектор; 6 – средний бункер;
7 – перепускной канал; 8 – выхлопная труба

Для повышения эффективности очистки зологазового потока авторами предлагается:

- выполнить его в виде цилиндра, уменьшающегося в диаметре по высоте (рис. 1);
- снабдить каждую ступень тангенциально расположенными патрубками.

Благодаря данным отличительным признакам в новой конструкции группового циклона коэффициент очистки газов от золы увеличивается до 90-92%, что выше проектных значений.

Авторами произведена дальнейшая модернизация конструкции группового циклона с целью снижения выбросов мелкодисперсных золовых частиц путем их улавливания в фильтре. Фильтр в отличие от действующих аналогов по замыслу авторов следует установить внутри выхлопной трубы, что существенно повысит экологическую эффективность работы циклона. Отметим, что на данное устройство авторами получен патент на полезную модель [5].

Таким образом, предлагаемые к внедрению в котельных инновационные технические решения по созданию групповых циклонов-золоуловителей значительно оздоравливают экологическую обстановку в работе расположения топливосжигающих установок.

Список литературы

1. Минаев Б.Н. Теплоэнергетика железнодорожного транспорта. – М.: МГУПС, 2016. – 347 с.
2. Катин В.Д. Методы и устройства сокращения выбросов вредных веществ в атмосферу из котлов на предприятиях железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 2013. – 86 с.
3. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под ред. А.А. Русанова – М.: Энергия, 2010. – 246 с.
4. Патент №59448 РФ. Группой циклон для очистки газов / В.Д. Катин, Р.В. Долгов, М.Х. Ахтямов. – Оpubл. 27.12.2006, Бюл. №36.
5. Патент №214870 РФ. Группой циклон для очистки газов / В.Д. Катин, А.А. Журавлев. – Оpubл. 17.11.2022, Бюл. №32.

Сведения об авторах:

Катин Виктор Дмитриевич – д.т.н., профессор, профессор кафедры «Техносферная безопасность»;

Журавлев Александр Александрович – аспирант.

АНАЛИЗ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА СЕЛЕКТИВНОЙ ВЫЕМКИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ

Соловьев И.В., Михайлов А.В.

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

Ключевые слова: торфяного сырья, технологический модуль, волокнистая среда, грейфер.

Аннотация. В данной работе проводится анализ выбора оборудования для осуществления выемки торфяного сырья селективным методом. Данный метод, как реализация карьерного способа добычи сырья, основан на принципах рационального природопользования с учетом принципов Целей устойчивого развития. Для осуществления выемки рационально использовать технологический модуль, состоящий из тягового устройства, транспортного средства и гидроманипулятора с подвешенным рабочим органом. В качестве рабочего органа возможно использовать грейфер.

ANALYSIS OF THE CHOICE OF EQUIPMENT FOR THE IMPLEMENTATION OF THE METHOD OF SELECTIVE EXTRACTION OF PEAT RAW MATERIALS

Soloviev I.V., Mikhailov A.V.

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Keywords: peat raw materials, technological module, fibrous medium, grab.

Abstract. In this paper, the analysis of the choice of equipment for the excavation of peat raw materials by a selective method is carried out. This method, as the implementation of a quarry method of extraction of raw materials, is based on the principles of rational nature management, taking into account the Goals of sustainable development. To carry out the excavation, it is rational to use a technological module consisting of a traction device, a vehicle and a hydraulic manipulator with a suspended working body. As a working organ, it is advisable to use a two-jaw hydraulic fork grab. **Keywords:** peat raw materials, technological module, fibrous medium, fork grapple.

Введение. Волокнистое торфяное сырье малой степени применяется в ряде отраслей промышленности из-за своих особых химических и физико-механических свойств.

Актуальной является задача разработки экономически эффективных технологии добычи данного вида полезного ископаемого с учетом современных тенденции рационального природопользования и принципов устойчивого развития, поскольку торфяные месторождения играют существенную роль в поддержании устойчивого благоприятного состояния биосферы.

Как известно, применение традиционных методов разработки торфяных месторождений требует подготовку производственных площадей. Данные мероприятия оказывают крайне негативное воздействие на разрабатываемые территории с экологической точки зрения.

Выемка сырья селективным методом является технологией добычи торфяного сырья малой степени разложения, которая может реализовываться без подготовки производственных площадей. Этот метод относится к карьерному способу добычи сырья, при котором выемка осуществляется из поверхностного

слоя залежи на глубину до полуметра (деятельный слой залежи – акротелм). Метод предполагает выемку сырья лагунным методом с образованием берм-перекрытий между ними, благодаря которым сохраняется гидрологический режим, приближенный к естественному в области нарушения, и возникают условия к более интенсивному восстановлению растительности после выемки [1].

Основная часть. В состав комплекта оборудования на торфяных предприятиях включают четыре группы машин: тракторы (тяговое устройство); торфяные машины, агрегатируемые с тяговыми устройствами; универсальное выемочно-погрузочное оборудование (бульдозеры, фрезерные машины); торфяные машины с собственным приводом.

Разработка месторождения методом селективной выемки характерна малым торфодобывающим предприятиям с производительностью до 20 тыс. т. в год. Для реализации технологии используется минимальный комплект торфяных и универсально-выемочных машин 1, 2 и 3 групп для их совмещения в едином производственном цикле [2].

Исходя из принципов комплектования и агрегатирования горных машин для открытых горных работ, единицы оборудования целесообразно синтезировать в модули, имеющих технологические и конструктивные связи между собой. В состав технологического модуля для реализации метода селективной выемки следует включить: тяговое энергетическое устройство – трактор; транспортное средство – полуприцеп и кузов; гидроманипулятор с подвешенным рабочим органом – основное выемочно-погрузочное устройство [3].

Технологический модуль – оборудование циклического способа действия, для которого характерно объединение технологических операций в единый цикл, их строгая последовательность во времени и обособленность в пространстве.

Вертикальная выемка торфяного сырья может осуществляться с помощью разных типов рабочих органов: ковш, шнек, грейфер, фреза, ротор.

Торфяное сырье малой степени разложения обладает особыми структурными свойствами, благодаря которым оно получило широкое применение в ряде отраслей промышленности. Их нарушение в процессе добычи ухудшает эксплуатационные свойства сырья. Возможно обозначить ряд критериев рационального выбора рабочего органа.

1. Исходя из технологии ведения добычных работ, функционал рабочего органа должен позволять применять его на сосредоточенных земляных работах с образованием неглубоких выемок (до полуметра).

2. Он должен обладать универсальностью. Из-за анизотропии свойств торфяной залежи он должен обладать широким диапазоном эффективного применения.

3. Операции по выемке и разгрузке должны выполняться в едином технологическом цикле, рабочий орган должен обладать многофункциональностью.

4. Его функционал должен позволять осуществлять выемку с минимальным нарушением структурных характеристик сырья.

Грейферные механизмы позволяют осуществлять разработку грунтов независимо от их расположения относительно уровня стоянки оборудования. Их функциональность позволяет осуществлять выемку сырья из залежи и осуществлять выгрузку в кузов транспортного средства без нарушения структурных свойств внутри объема грейферного механизма. Наряду с этим грейферы обладают следующими преимуществами относительно других рабочих органов.

1. Возможно проводить сосредоточенные земляные работы.

2. Рабочий процесс загрузки-разгрузки проходит в коротком временном цикле.

Заключение. Для выполнения добычных работ торфяного сырья малой степени разложения рационально использование технологического модуля, который состоит из тягового устройства, транспортного средства с кузовом и гидроманипулятора с выемочным грейфером.

Список литературы

1. Mikhailov A. Restoration of peatlands after selective white peat excavation // Book of Abstracts of the 14th International Peat Congress. Peatlands in Balance Stockholm, Sweden June 3-8. – 2012. – P. 448. – DOI: 10.1017/CBO9781139059152.015.
2. Михайлов А.В., Иванов С.Л., Габов В.В. Формирование и эффективное использование машинного парка торфодобывающих компаний // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – Т. 14, №14. – С. 82-91.
3. Соловьев И.В., Михайлов А.В. Особенности компоновки технологического модуля для добычи торфяного сырья малой степени разложения // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022. – №16. – С. 103-109. – DOI: 10.26160/2658-3305-2022-16-103-109.

Сведения об авторах:

Соловьев Иван Васильевич – аспирант;

Михайлов Александр Викторович – д.т.н., профессор.

ВЛИЯНИЕ УГЛА ЗАОСТРЕНИЯ РАБОЧЕГО ПРОФИЛЯ НЕСИММЕТРИЧНОГО ЗУБА ЗВЕЗДОЧКИ НА ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ВЕТВЕЙ ЦЕПИ, ВЫЗВАННЫЕ РАЗНОШАГОВОСТЬЮ ЗВЕНЬЕВ ЦЕПИ

Война А.А., Луценко И.И.

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар

Ключевые слова: угол заострения, несимметричный зуб звездочки, роликовая цепная передача, поперечные колебания, разношаговость звеньев, поперечное перемещение концевой шарнира, динамика цепной передачи, ресурс цепной передачи.

Аннотация. В работе рассмотрено влияние угла заострения профиля зуба звездочки на поперечные колебания ветвей цепи в процессе эксплуатации роликовой цепной передачи. Показано, что вследствие разноразмерности звеньев цепи концевые шарниры ветвей передачи перемещаются в вертикальной плоскости, вызывая поперечные колебания. Установлено, что использование звездочек с несимметричными зубьями позволяет уменьшить величину поперечных перемещений концевых шарниров ветвей цепи, что положительно отражается на динамике цепной передачи и повышает её ресурс.

THE INFLUENCE OF THE ANGLE OF SHARPENING OF THE WORKING PROFILE OF AN ASYMMETRIC STAR GEAR TOOTH ON TRANSVERSE OSCILLATIONS OF CHAIN BRANCHES CAUSED BY UNEVENNESS OF CHAIN LINK SIZE

Voina A.A., Lutsenko I.I.

Kuban State Technological University, Krasnodar

Keywords: the angle of sharpening, the asymmetric tooth of the sprocket, roller chain transmission, transverse vibrations, the mismatch of the links, the transverse movement of the end joint, the dynamics of the chain transmission, the resource of the chain transmission.

Abstract. The paper considers the influence of the sharpening angle of the tooth profile of the sprocket on the transverse vibrations of the chain branches during the operation of a roller chain transmission. It is shown that due to the heterogeneity of the chain links, the end hinges of the transmission branches move in a vertical plane, causing transverse vibrations. It is established that the use of sprockets with asymmetric teeth reduces the amount of transverse movements of the end joints of the chain branches, which has a positive effect on the dynamics of the chain transmission and increases its service life.

В процессе эксплуатации роликовой цепной передачи наиболее интенсивный износ цепи наблюдается при развороте ее звеньев в момент входа и выхода шарниров из зацепления со звездочками, а также при пробеге по ветвям передачи вследствие относительных угловых перемещений звеньев, вызванных поперечными колебаниями ветвей. Причиной поперечных колебаний ветвей цепной передачи является перемещение концевых шарниров ветвей в вертикальной плоскости, которое может быть обусловлено граненостью и эксцентриситетом звездочек, а также разностью радиусов расположения шарниров относительно центров звездочек вследствие разноразмерности звеньев

цепи [1]. Влияние последнего фактора усиливается с увеличением износа цепи и развитием в ней разношаговости смежных наружных и внутренних звеньев.

В данной работе рассматривается вопрос влияния угла заострения γ_p рабочего профиля зубьев звездочек на величину поперечных перемещений концевых шарниров ветвей, обусловленных разношаговостью звеньев цепи.

Для оценки поперечного перемещения концевого шарнира ветви, рассмотрим сначала зацепление роликовой цепи со звездочкой с симметричными зубьями, имеющими одинаковые значения углов заострения рабочего γ_p и затылочного γ_z профилей зубьев (рис. 1).

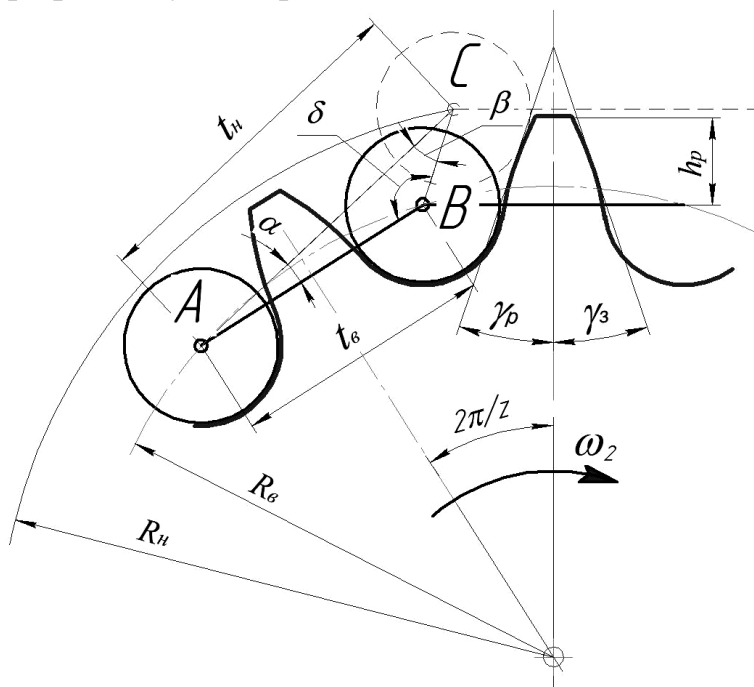


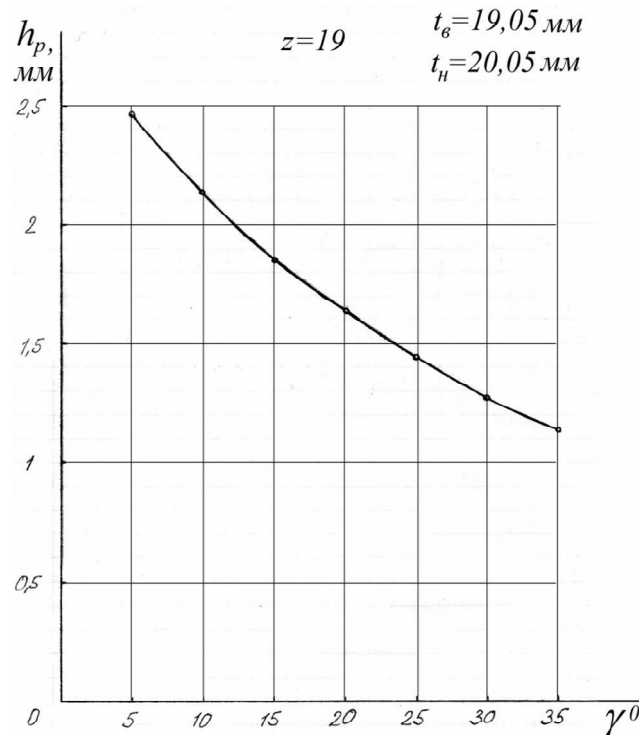
Рис. 1. Схема для определения величины поперечного перемещения концевого шарнира ветви роликовой цепи вследствие разношаговости её звеньев

Разношаговость наружных t_n и внутренних t_g звеньев приводит к тому, что смежные шарниры, находящиеся на дуге обхвата звездочки, располагаются на разных радиусах R_n и R_g относительно центра звездочки. В этих условиях при входе или выходе из зацепления со звездочкой шарниры наружных и внутренних звеньев будут перемещать ветвь цепи в вертикальной плоскости на величину h_p , которую можно определить из построений, показанных на рисунке 1.

$$h_p = \cos \gamma_p \cdot \sqrt{t_g^2 + t_n^2 - 2t_g t_n \cos \left(\frac{\pi}{2} - \frac{2\pi}{z} - \gamma_p - \arcsin \frac{t_g \sin \left(\frac{2\pi}{z} + \frac{\pi}{2} + \gamma_p \right)}{t_n} \right)}. \quad (1)$$

На рисунке 2 показан пример роликового цепного зацепления со звездочкой, имеющей несимметричные зубья [2] с увеличенными углами заострения рабочих профилей γ_p .

Здесь видно, что при той же разношаговости звеньев цепи величина h_p при зацеплении с несимметричными зубьями звездочки оказывается значительно меньше. Значения h_p для звездочки с числом зубьев $z=19$, полученные по формуле (1) для разных углов заострения γ_p , представлены на диаграмме (рис. 3).



Из диаграммы следует, что для уменьшения величины поперечных перемещений h_p концевых шарниров ветвей цепи, обусловленных разношаговостью ее звеньев, необходимо обеспечивать выполнение условия:

$$\gamma_p \rightarrow \max.$$

Таким образом, применение звездочек с несимметричными зубьями [3] с увеличенными углами заострения γ_p рабочих профилей зубьев, позволяет уменьшить величину поперечных перемещений h_p концевых шарниров ветвей цепи, обусловленных разношаговостью звеньев, что положительно сказывается на динамике цепной передачи и повышает её ресурс.

Список литературы

1. Метильков С.А. Исследование поперечных колебаний ветвей цепных передач сельхозмашин и их влияние на изнашивание роликовых цепей: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Краснодар: КубГТУ, 1979. – 22 с.
2. Патент №2266449 РФ. Звездочка для роликовых цепных передач / А.А. Петрик, С.Б. Бережной, О.И. Остапенко, А.А. Война. – Заявка №2004111240/11 от 12.04.2004; опубл. 20.12.2005, Бюл. №35.
3. Voina A.A., Berezhnoi S.B., Yunin V.V. Sprocket with asymmetric teeth for roller chain drives of vehicles // Transportation Research Procedia. 2022, vol. 63, pp. 1281-1287. doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.136.

Сведения об авторах:

Война Андрей Александрович – к.т.н., доцент кафедры технической механики и специальных машин;

Луценко Илья Игоревич – аспирант.

ЧЕРВЯЧНАЯ ФРЕЗА ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЗВЕЗДОЧЕК С НЕСИММЕТРИЧНЫМИ ЗУБЬЯМИ

Война А.А., Луценко И.И.

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар

Ключевые слова: несимметричный профиль зубьев, звездочка, роликовые цепные передачи, червячная фреза, нарезание зубьев, точность, производительность.

Аннотация. В работе рассматривается метод нарезания звездочек с несимметричным профилем зубьев, обеспечивающих рациональное распределение передаваемой нагрузки по дугам обхвата звездочек и обладающих повышенной износостойкостью. Для реализации этого метода предлагается использовать червячную фрезу с несимметричными углами профиля исходного производящего контура. Применение данного инструмента позволяет нарезать звездочки с несимметричными зубьями на стандартном зуборезном оборудовании.

WORM CUTTER FOR CUTTING SPROCKETS WITH ASYMMETRIC TOOTH PROFILES

Voina A.A., Lutsenko I.I.

Kuban State Technological University, Krasnodar

Keywords: asymmetric tooth profile, sprocket, roller chain transmissions, worm cutter, generating profile contour, tooth cutting, accuracy, productivity.

Abstract. The paper considers the method of cutting sprockets with an asymmetric profile of teeth, providing a rational distribution of the transmitted load along the arcs of the girth of the sprockets and having increased wear resistance. To implement this method, it is proposed to use a worm mill with asymmetric profile angles of the original producing contour. The use of this tool allows you to cut sprockets with asymmetrical teeth on standard gear-cutting equipment.

Идея использования несимметричного профиля зуба звездочки родилась после анализа результатов экспериментальных исследований роликовых цепных передач, оснащенных эвольвентными звездочками [1]. Осциллограммы, полученные в ходе стендовых испытаний цепных передач, показали, что распределение нагрузки по дуге обхвата звездочки существенно зависит от величин углов заострения рабочих профилей зубьев γ_p . При этом эта зависимость более четко прослеживалась на дуге обхвата ведомой звездочки, где цепь являлась ведущим элементом передачи, и вследствие малых величин углов заострения γ_p рабочих профилей зубьев в передаче полезного усилия участвовало ограниченное количество зубьев (как правило, не более 2-3-х).

Применение звездочек с несимметричным профилем зубьев обеспечивает рациональное распределение нагрузки на дугах обхвата звездочек, что повышает её износостойкость. Звездочка с несимметричными зубьями для роликовых цепных передач была предложена в работах [2, 3], однако до сих пор не предложен режущий инструмент, который способен нарезать такие звездочки наиболее производительным и точным способом.

Известен несимметричный исходный производящий контур (ИПК) режущего инструмента [4], который позволяет производить нарезание звездочек с несимметричными зубьями для роликовых цепных передач. Недостатком данного режущего инструмента является необходимость производить нарезание зубьев звездочек в несколько этапов с периодическим смещением инструмента вдоль его оси, что существенно усложняет процесс изготовления звездочек и не обеспечивает необходимую точность.

Авторами предлагается ИПК червячной фрезы (рис. 1), применение которой позволит нарезать звездочки с несимметричными зубьями за один этап, что обеспечит повышение производительности и точности изготовления звездочек с несимметричными зубьями.

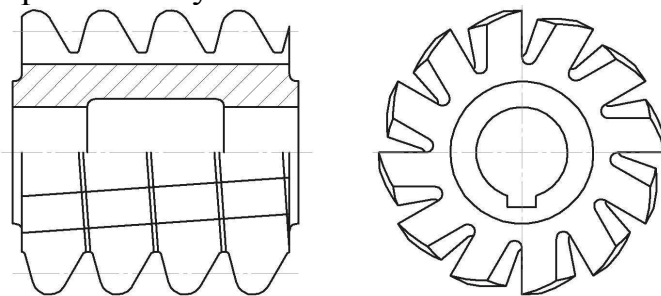


Рис. 1. Общий вид червячной фрезы для нарезания звездочек с несимметричными зубьями

ИПК червячной фрезы для нарезания звездочек с несимметричными зубьями (рис. 2) с шагом t_n , равным шагу цепи t , имеет разные углы профиля зуба: $\alpha = 30^\circ$ – для нарезания рабочей стороны зуба звездочки и $\alpha' = 15^\circ$ – для нарезания тыльной стороны зуба звездочки, а также закругленные вершины, выполненные по радиусу r , равному половине диаметра ролика цепи D данного шага t .

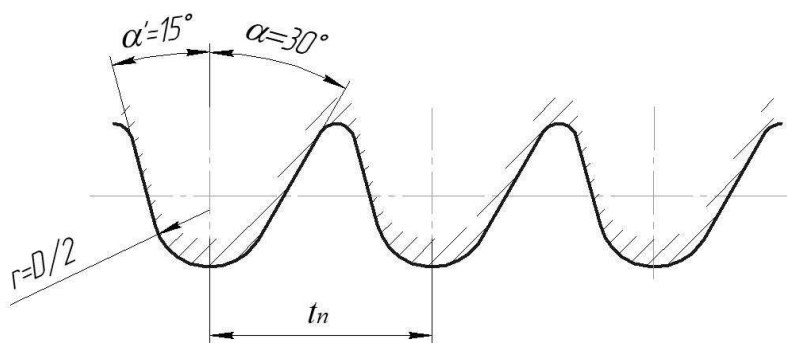


Рис. 2. ИПК червячной фрезы для нарезания звездочек с несимметричными зубьями

Нарезание звездочек предлагаемой червячной фрезой производится методом обкатки на зубофрезерном станке. Червячная фреза врезается в заготовку на глубину, равную высоте зуба звездочки, формируя рабочие и затылочные профили зубьев в один этап. Полученные несимметричные профили зубьев звездочек (рис. 3) обеспечивают рациональное распределение нагрузки по дугам обхвата звездочек в работающей цепной передаче.

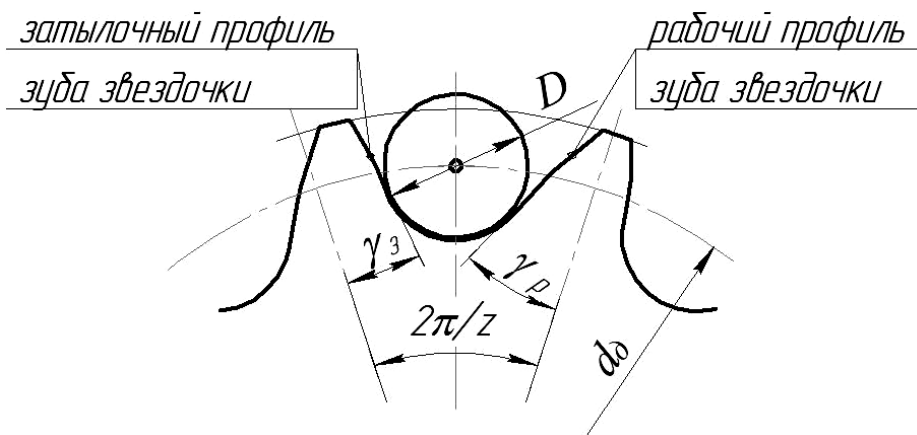


Рис. 3. Звездочка с несимметричными зубьями

Список литературы

1. Voina A.A., Berezhnoi S.B., Yunin V.V. Research of an involute sprocket engagement with a roller chain in chain drives of vehicles // Transportation Research Procedia. 2022, vol. 63, pp. 1274-1280. doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.135.
2. Патент №2266449 РФ. Звездочка для роликовых цепных передач / А.А. Петрик, С.Б. Бережной, О.И. Остапенко, А.А. Война. – Заявка №2004111240/11 от 12.04.2004; опубл. 20.12.2005, Бюл. №35.
3. Voina A.A., Berezhnoi S.B., Yunin V.V. Sprocket with asymmetric teeth for roller chain drives of vehicles // Transportation Research Procedia. 2022, vol. 63, pp. 1281-1287, doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.136.
4. Бережной С.Б. Синтез и анализ роликовых цепных передач: Дисс. ... докт. техн. наук. – Краснодар: КубГТУ, 2004. – 431 с.

Сведения об авторах:

Война Андрей Александрович – к.т.н., доцент кафедры технической механики и специальных машин;

Луценко Илья Игоревич – аспирант.

ЧЕРВЯЧНО-ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ПЕРЕДАЧА

Война А.А., Юнин В.В., Сотников А.А.

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар

Ключевые слова: червячно-цилиндрическая передача, червяк, червячное колесо, цилиндрическая передача, повышенная передаваемая мощность, два силовых потока.

Аннотация. В работе рассмотрена конструкция червячно-цилиндрической передачи с двумя цилиндрическими червяками. Передача дополнительно оснащена цилиндрической зубчатой передачей, обеспечивающей синхронное вращение червяков, находящихся в зацеплении с червячным колесом. Образование двух силовых потоков, а также увеличение суммарной площади контакта витков червяков с зубьями червячного колеса повышает передаваемую мощность передачи без существенного усложнения её конструкции и увеличения габаритов.

WORM-CYLINDRICAL TRANSMISSION

Voina A.A., Yunin V.V., Sotnikov A.A.

Kuban State Technological University, Krasnodar

Keywords: worm-cylindrical transmission, worm, worm wheel, cylindrical transmission, increased transmitted power, two power flows.

Abstract. The paper considers the design of a worm-cylindrical transmission with two cylindrical worms. The transmission is additionally equipped with a cylindrical gear drive that provides synchronous rotation of the worms engaged with the worm wheel. The formation of two power flows, as well as an increase in the total contact area of the worm coils with the teeth of the worm wheel increases the transmitted transmission power without significantly complicating its design and increasing dimensions.

Стандартные червячные передачи, оснащенные цилиндрическими червяками, имеют ряд недостатков, одним из которых является ограниченная передаваемая мощность. Этот недостаток обусловлен малой площадью контакта витков червяка с зубьями червячного колеса при их однопарном зацеплении [1].

Авторами предлагается модифицированная червячная передача, обеспечивающая большие передаваемые мощности без существенного усложнения конструкции и увеличения массы устройства (рис. 1). Конструкция червячно-цилиндрической передачи защищена патентом РФ на изобретение [2].

Передача состоит из ведущего вала 1 с первым червяком 2, находящимся в зацеплении с червячным колесом 3, и промежуточного вала 4 со вторым червяком 5, также находящимся в зацеплении с червячным колесом 3 и расположенным диаметрально противоположно первому червяку 2. Ведущий 1 и промежуточный 4 валы кинематически связаны друг с другом посредством цилиндрической прямозубой передачи, образованной цилиндрическими шестернями 6 и 7 с одинаковым числом зубьев. Цилиндрическая прямозубая передача обеспечивает синхронное вращение ведущего и промежуточного вала в противоположные стороны.

В процессе работы передачи вращение с ведущего вала 1 посредством зацепления первого червяка 2 с червячным колесом 3 передается на ведомый вал

8. При этом вращение с ведущего вала 1 посредством зацепления цилиндрических шестерен 6 и 7 меняется на противоположное и передается на промежуточный вал 4, с которого посредством зацепления второго червяка 5 с червячным колесом 3 вращение передается на ведомый вал 8.

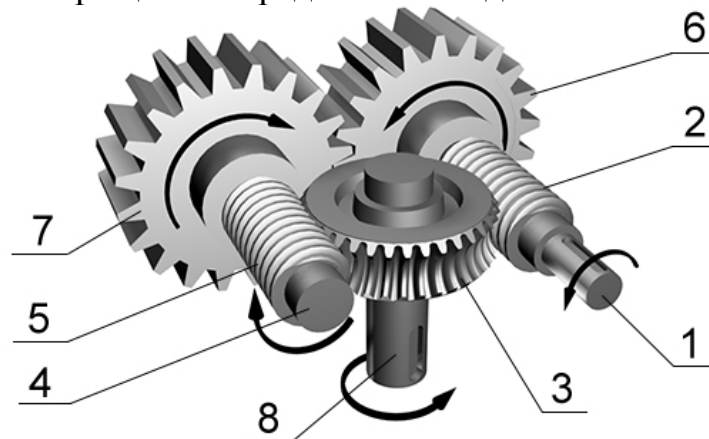


Рис. 1. Червячно-цилиндрическая передача

Оценка нагрузочной способности червячной передачи ведется по критерию усталостной контактной и изгибной прочности зубьев червячного колеса, как наиболее слабого элемента передачи, поскольку его зубчатый венец изготавливается из цветных сплавов (например, бронзы). Фактически расчеты сводятся к определению действующих контактных напряжений σ_H и напряжений изгиба σ_F , которые в свою очередь зависят от передаваемой полезной нагрузки и геометрических размеров элементов передачи [3].

Применение второго червяка, находящегося в зацеплении с червячным колесом, позволяет без существенного изменения габаритов передачи повысить её нагрузочную способность за счет увеличения суммарной площадки контакта витков червяков с зубьями червячного колеса (рис. 2).

Кроме того, симметричное нагружение червячного колеса со стороны двух червяков, расположенных диаметрально противоположно друг другу, позволяет компенсировать действие радиальных и осевых составляющих усилий, возникающих в зацеплении и частично разгрузить опоры вала червячного колеса.

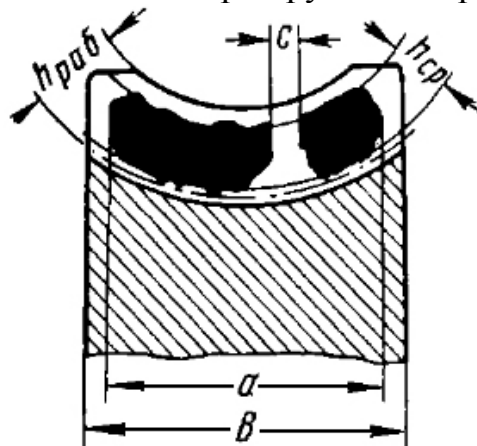


Рис. 2. Пятно контакта витков червяка с зубом червячного колеса

Таким образом, использование двух силовых потоков, образованных зацеплением двух червяков с червячным колесом, позволяет повысить мощность,

передаваемую червячной передачей, без увеличения размеров составляющих её элементов.

Список литературы

1. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин: Учеб. пособие для вузов. – 11-е изд., стер. – М.: Академия, 2008. – 495 с.
2. Патент №2784495 РФ. Червячно-цилиндрическая передача / А.А. Война, В.В. Юнин. – Заявка № 2022121951 от 12.08.2022; опубл. 28.11.2022, Бюл. № 34.
3. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. / Под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 2. – 912 с.

Сведения об авторах:

Война Андрей Александрович – к.т.н., доцент кафедры технической механики и специальных машин;

Юнин Владимир Владимирович – старший преподаватель кафедры технической механики и специальных машин;

Сотников Антон Андреевич – студент.

ОСОБЕННОСТИ НАНЕСЕНИЯ РАБОЧЕГО СЛОЯ ПРОЦЕССОМ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ И РЕМОНТЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРГАНИЗОВАННЫХ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИЙ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Михеев Р.С.¹, Калашников И.Е.^{1,2}, Кобелева Л.И.²

¹*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет);*

²*Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской
академии наук, Москва*

Ключевые слова: дуговая наплавка, интерметаллиды SnSb, погонная энергия, функционально-организованные слоистые композиции, антифрикционные покрытия.

Аннотация. Процессом дуговой наплавки выполнены восстановительные работы и получены функционально-организованные сталеалюминиевые слоистые композиции триботехнического назначения с промежуточным слоем из баббита Б83. Установлено влияние погонной энергии на структуру промежуточного слоя и размер кристаллов системы SnSb, определяющих их способность к выкрашиванию в процессе трения при эксплуатации. Определена полиномиальная зависимость размера кристаллов SnSb от величины силы сварочного тока.

FEATURES OF THE WORKING LAYER CLADDING BY THE ARC SURFACING PROCESS DURING THE RESTORATION AND REPAIR OF FUNCTIONALLY ORGANIZED LAYERED COMPOSITIONS FOR TRIBOTECHNICAL PURPOSES

Mikheev R.S.¹, Kalashnikov I.E.^{1,2}, Kobeleva L.I.²

¹*Bauman Moscow State Technical University;*

²*Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of Russian Academy of Sciences,
Moscow*

Keywords: arc surfacing process, intermetallic SnSb, heat input, functionally organized layered compositions, antifriction coatings.

Abstract. The process of arc surfacing performed restoration work and obtained functionally organized steel-aluminum layered compositions for tribotechnical purposes with an intermediate layer of babbitt B83. The influence of heat input on the structure of the intermediate layer and the size of SnSb system crystals, which determine their ability to chipping during friction, has been established. A polynomial dependence of the SnSb crystals size on the welding current magnitude has been proposed.

Функционально-организованные слоистые композиции широко применяют в изделиях современной техники. Из них изготавливают биметаллические вставки, функциональные конструктивные элементы, а также подвижные опоры скольжения узлов трения [1]. Причем, именно последние во многом определяют ресурс работы всего изделия, и, поэтому, представляют наибольший интерес для исследователей. Конструктивно подвижные опоры скольжения представляют собой биметаллическую композицию, состоящую из стального основания и рабочего антифрикционного слоя. Материал рабочего слоя должен обладать

рядом взаимоисключающих друг друга свойств: малым износом, низким коэффициентом трения, хорошей и быстрой прирабатываемостью, способностью противостоять задирам и схватыванию, высокими физико-механическими свойствами при рабочих температурах, способностью образовывать легко удаляемые продукты износа и т.д. [2]. Наибольшее распространение в качестве материала рабочего слоя получили баббиты – сплавы на основе олова. Среди них сплав марки Б83 (83% олова, 11% сурьмы, 6% меди по ГОСТ 1320) является на сегодняшний день наиболее востребованным в качестве антифрикционного материала подвижных опор скольжения ответственных элементов современной техники. Однако, по истечении гарантированного срока эксплуатации требуется проведения планового ремонта подобного узла трения. Традиционно самым распространенным способом восстановления изношенного рабочего слоя из баббита Б83 является его перезаливка. При этом следует отметить, что данный технологический процесс обладает рядом недостатков: трудоемкость, относительная дороговизна и прочие [3]. Альтернативой процессу перезаливки баббита Б83 при проведении плановых ремонтов подвижных опор скольжения может стать применение процесса дуговой наплавки. Причем в качестве материала наплавляемого слоя особый интерес представляет применение дисперсно-наполненных композиционных материалов на основе алюминия. Такие композиционные материалы характеризуются рекордными значениями износостойкости при сопоставимых с баббитом Б83 значениях коэффициента трения [4, 5]. Подобная функциональная организация слоев дополнительно позволит обеспечить за счет промежуточного слоя из баббита Б83 возможность исключения химического взаимодействия между стальной подложкой и алюминиевой матрицей композиционного материала с образованием хрупких интерметаллидов системы Fe-Al разного стехиометрического состава [6, 7]. Кроме того, предлагаемая технология может успешно применяться не только для ремонта, но и для изготовления подвижных опор скольжения. Однако, в результате термического воздействия на слой баббита Б83 от процесса аргонодуговой наплавки может происходить изменение размеров и морфологии кристаллов β -фазы – твердого раствора на основе химического соединения SnSb. В связи с различием кристаллических решеток включения β -фазы слабо связаны с твердым раствором сурьмы в олове и являются источником возникновения микро- и макротрещин при незначительном нагружении баббита. Именно по этой причине баббит Б83 характеризуется невысокой износостойкостью [4]. Поэтому настоящая работа посвящена исследованию влияния погонной энергии на структуру промежуточного слоя из баббита при изготовлении функционально-организованных слоистых композиций процессом дуговой наплавки.

Исходный биметаллический образец размером 120x60 мм в виде подложки из стали 20 (ГОСТ 1050) толщиной 8 мм и рабочего слоя из баббита Б83 толщиной 4 мм был изготовлен по традиционной технологии процессом заливки. На его поверхность процессом дуговой наплавки вольфрамовым электродом в инертном газе наносили функциональные слои на основе алюминия. Причем, в качестве присадочного материала применяли прутки диаметром 3 мм из сплава ER1100, являющимся аналогом Св-А5 (ГОСТ 7871). Выбор подобного

матричного сплава композиционных материалов обусловлен отсутствием влияния частиц наполнителя на изменение размеров и морфологии кристаллов β -фазы. Процесс аргонодуговой наплавки проводили с применением сварочного источника питания ESAB Origo Tig 3000i TA24 AC/DC на параметрах режима, представленных в таблице 1.

Табл. 1. Технологические параметры режима аргонодуговой наплавки и средний размер кристаллов SnSb промежуточного слоя из баббита Б83

Скорость наплавки, V, мм/мин	Сила сварочного тока, I, А	Напряжение на дуге, U, В	Погонная энергия, Q, Дж/мм	Средний размер кристаллов SnSb промежуточного слоя, мкм
20	100	18	4050	10,8
	120		4860	8,8
	140		5670	8,1
	160		6480	9,1

Исследование структуры промежуточного слоя осуществляли методом оптической микроскопии с применением светового микроскопа Leica DMILM. Для определения среднего размера проводили оценку не менее 50 кристаллов SnSb на каждом образце.

Установлено, что кристаллы SnSb обладают минимальным размером при величине погонной энергии 5670 Дж/мм. Полученные результаты позволили построить полиномиальная зависимость среднего размера кристаллов SnSb (P) от величины силы сварочного тока (I): $P = 0,0017 I^2 - 0,4732 I + 41,378$. Данная зависимость представляет из себя параболу, ветви которой направлены вверх, а вершина располагается при значении силы сварочного тока $I = (140 \pm 1)$ А. Таким образом, по результатам проведенного исследования определено, что для обеспечения минимального размера кристаллов SnSb в промежуточном слое из баббита Б83 процесс дуговой наплавки при изготовлении функционально-организованных слоистых композиций следует осуществлять при силе тока 140 А.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-00366, <https://rscf.ru/project/22-29-00366/>.

Список литературы

1. Jiang W., Li G., Wu Y., Liu X., Fan Z. Effect of heat treatment on bonding strength of aluminum/steel bimetal produced by a compound casting // J. Mater. Process. Technol. 2018, vol. 258, pp. 239-250.
2. Babu M.V.S., Rama Krishna A., Suman K.N.S. Review of journal bearing materials and current trends // American Journal of Materials Science and Technology. 2015, vol. 4, no. 2, pp. 72-83.
3. Alcover Jr. P.R, Pukasiewicz A.G. Evaluation of microstructure, mechanical and tribological properties of a babbitt alloy deposited by arc and flame spray processes // Tribology International. 2019, vol. 131, pp. 148-157.

4. Михеев Р.С. Инновационные пути в создании антифрикционных композиционных покрытий на основе цветных сплавов с повышенными триботехническими свойствами // Заготовительные производства в машиностроении. – 2018. – № 5. – С. 204-210.
5. Чернышова Т.А., Михеев Р.С., Калашников И.Е., Акимов И.В., Харламов Е.И. Разработка и апробация композиционных материалов систем Al-SiC, Al-TiC в узлах трения нефтедобывающего оборудования // Физика и химия обработки материалов. – 2010. – №5. – С.78-86.
6. Комаров А.И., Сосновский И.А., Орда Д.В., Курилёнок А.А., Искандарова Д.О. Влияние олова в материале подслоя на структуру Al-Si сплава, наплавляемого центробежно-индукционным методом // Механика машин, механизмов и материалов. – 2019. – №3(48). – С. 77-84.
7. Mikheev R.S., Kalashnikov I.E., Bykov P.A. Investigation of the diffusion zone formation mechanisms during the production of functional steel-aluminium compositions by arc processes // Materials Science Forum. 2022, vol. 1052, pp. 14-20.

Сведения об авторах:

Михеев Роман Сергеевич – д.т.н., профессор кафедры «Сварка, диагностика и специальная робототехника»;

Калашников Игорь Евгеньевич – д.т.н., ведущий научный сотрудник Лаборатории прочности и пластичности металлических и композиционных материалов и наноматериалов;

Кобелева Любовь Ивановна – к.т.н., старший научный сотрудник Лаборатории прочности и пластичности металлических и композиционных материалов и наноматериалов.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТНОЙ СВАРКИ ЧУГУНА

Никишкина А.Б., Булычев В.В.

*Калужский филиал Московского государственного технического университета
им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Калуга*

Ключевые слова: чугун, наплавка, дефект, остаточные напряжения, проковка.

Аннотация. Часто ответственные и корпусные детали машин изготавливают из чугунов. В процессе изготовления литьем и эксплуатации часто возникают дефекты в виде раковин и трещин. Одним из способов их устранения является доведение до размеров новых деталей и улучшение физико-механических свойств с помощью дуговой наплавки. Однако при этом могут возникать трещины, связанные с охрупчиванием в зоне термического влияния и возникающими остаточными напряжениями растяжения. Одним из путей их снижения является проковка на глубину, превышающую глубину закаляемого слоя путем создания предварительных напряжений сжатия. Для решения поставленной задачи разработана математическая модель на основе метода конечных элементов (МКЭ), позволяющая оценить влияние режима обработки при различных условиях: диаметре бойка, усилиях и материале заготовки.

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF REPAIR WELDING OF CAST IRON

Nikishkina A.B., Bulychev V.V.

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga

Keywords: cast iron, surfacing, defect, residual stresses, forging.

Abstract. Often, critical and body parts of machines are made of cast iron. In the process of manufacturing by casting and operation, defects in the form of shells and cracks often occur. One of the ways to eliminate them is to bring to the size of new parts and improve the physical and mechanical properties using arc welding. However, in this case, cracks can occur due to embrittlement in the heat-affected zone and the resulting residual tensile stresses. One of the ways to reduce them is forging to a depth exceeding the depth of the hardened layer by creating compressive prestresses. To solve the problem, a mathematical model based on the finite element method (FEM) has been developed, which makes it possible to evaluate the influence of the processing mode under various conditions: the diameter of the striker, the forces and the material of the workpiece.

Чугун остается одним из основных конструкционных материалов для изготовления корпусных и иных ответственных деталей машин, таких как блоки и головки цилиндров, картеры коробок передач, картеры задних мостов и т.д. [1]. В процессе изготовления и эксплуатации таких деталей могут возникать локальные дефекты в виде раковин, локальных зон разрушения. При этом высокая стоимость деталей приводит к целесообразности из ремонта. Одним из основных способов ремонта таких дефектов являются различные способы дуговой наплавки. Однако при ремонтной сварке и наплавке чугуна возникают трудности, связанные с охрупчиванием сварного шва и зоны термического влияния, наличием высоких сварочных напряжений, что в итоге приводит к образованию трещин в наплавленном металле и околошовной зоне [2].

Широко применяется способ наплавки изделий из чугунов [3], при котором наплавка детали выполняется короткими швами без предварительного подогрева, а после наплавки наплавленный металл подвергается проковке для уменьшения вероятности образования трещин за счет снижения остаточных сварочных напряжений растяжения. Недостатком этого способа является то, что проковке подвергается уже наплавленный металл, а не металл зоны термического влияния. По этой причине проковка наплавленного металла оказывает незначительное влияние на распределение остаточных напряжений растяжения в основном металле и, следовательно, мало влияет на предотвращение образования трещин в зоне термического влияния.

С целью снижения вероятности образования трещин в зоне термического влияния предлагается выполнять проковку поверхности изделия уже перед наплавкой. В этом случае наведённые остаточные напряжения сжатия снижают уровень сварочных напряжений, способствуя тем самым предотвращению образованию холодных трещин. Успешность применения такой технологии связана с необходимостью прогнозирования глубины залегания h при проковке.

Для определения глубины залегания напряжений была разработана математическая модель на основе метода конечных элементов (МКЭ), позволяющая оценить влияние режима обработки при различных условиях: диаметре бойка, усилиях и материале заготовки (рис.1).

Численное моделирование осуществлялось в прикладном пакете Ansys, в области контакта размер конечных элементов составлял 0,2 мм. Была принята билинейная диаграмма деформирования. Расчеты выполнялись в диапазоне $\varepsilon = 0,3...0,7$ для сферического индентора диаметром 4, 6, 8, 10 мм.

На рисунке 2 пояснено, как измерялась глубина наклепа.

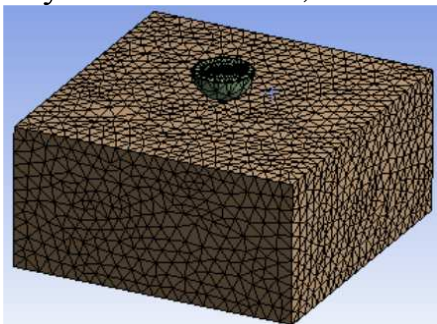


Рис. 1. Конечно- элементная модель внедрения сферического индентора в образец

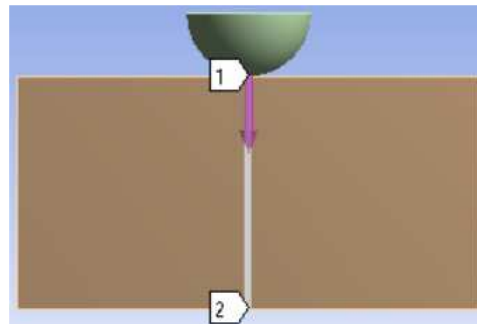


Рис. 2. Измерение глубины упрочнения

В результате расчетов получена математическая зависимость, позволяющая рассчитать глубину h упрочнения в зависимости от степени деформации и диаметра индентора [4]

$$h = (-3,226D + 9,7069)\varepsilon^2 + (3,7935D - 0,637)\varepsilon, \quad (1)$$

где ε – деформация, D – диаметр индентора (мм).

Глубина h залегания остаточных напряжений сжатия после проковки и глубина z залегания температуры $T = 700^\circ\text{C}$ при сварке должны быть такими, чтобы выполнялось условие

$$h \geq z.$$

Глубину z распространения в тело детали температуры T под действием поверхностной температуры T_{\max} при отсутствии теплоотвода в радиальных направлениях находили по формуле [5]

$$z = 2\sqrt{at} \left(0,85 - \frac{T}{T_{\max}} \right), \quad (2)$$

где a – коэффициент температуропроводности чугуна, t – продолжительность действия поверхностного теплового источника, T_{\max} – максимальная температура сварки, T – температура, соответствующая глубине z .

При электродуговой наплавке сварочная дуга горит на поверхности сварочной ванны перегретого расплавленного металла. По этой причине в качестве максимальной температуры T_{\max} примем температуру перегретого расплавленного металла сварочной ванны. Примем, что $T_{\max} \approx 1500^\circ\text{C}$.

С учетом этого и полагая $T = 700^\circ\text{C}$ формулу (2) привели к виду

$$z \approx 0,8\sqrt{at}. \quad (3)$$

Полученная зависимость графически проиллюстрирована на рисунке 3.

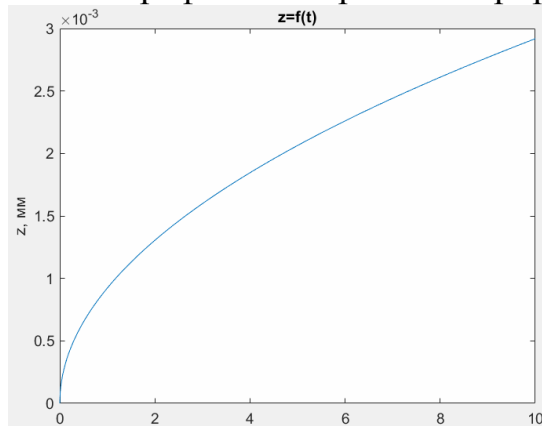


Рис. 3. Зависимость глубины распространения тепла от времени

Проведенные исследования и полученная зависимость позволяет повысить точность прогнозирования результатов обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД) чугуна и усовершенствовать технологию ремонтной сварки чугуна.

Список литературы

1. Покровский А.И., Дудецкая Л.Р. Использование высокопрочного бейнитного чугуна для изготовления зубчатых колес // Литье и металлургия. – 2015. – № 2(79). – С. 126-134.
2. Стеклов О.И. Основы сварочного производства: Учеб. пособие для техн. училищ. – М.: Высш. школа, 1981. – 160 с.
3. Степанов В.В. Справочник сварщика. – Изд. 3-е. – М.: Машиностроение, 1975. – 520 с.
4. Никишкина А.Б., Булычев В.В. Моделирование глубины упрочнения деталей из серого чугуна при обработке поверхностным пластическим деформированием // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 11 (95). – С. 131-141.
5. Малащенко А.А., Мезенов А.В. Лазерная сварка металлов. – М.: Машиностроение, 1984. – 45 с.

Сведения об авторах:

Никишкина Алевтина Борисовна – старший преподаватель;
Булычев Всеволод Валериевич – д.т.н., профессор.

СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ И МЕДЬ-ЦИНК, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ

Москвитин Г.В., Архипов В.Е., Пугачев М.С.

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва*

Ключевые слова: холодное газодинамическое напыление, когезионная прочность, адгезионная прочность, износ, трибологические свойства.

Аннотация. Рассматриваются два покрытия медь и медь-цинк на стальной подложке, полученные методом холодного газодинамического напыления. Проводится оценка влияния на свойства покрытий технологических режимов их нанесения, таких как температура и время последующей термической обработки. Определено, что адгезионная прочность покрытия меди нанесенного при температуре 540°C, может достигать 48,6 МПа. Когезионная прочность покрытия медь-цинк, нанесенного при температуре 450°C составляет 78 МПа, а покрытия меди, нанесенного при температуре 180°C составляет 165 МПа. Исследуемые покрытия медь и медь-цинк показали высокие трибологические свойства при износе в среде индустриального масла, совершая возвратно-поступательном движении пары трения. Результаты исследований позволяют рекомендовать покрытия меди и медь-цинк, полученные газодинамическим напылением, для использования в ремонте функциональных поверхностей машин и оборудования.

COATINGS BASED ON COPPER AND COPPER-ZINC OBTAINED BY GAS-DYNAMIC SPRAYING

Arkhipov V.E., Moskvitin G.V., Pugachev M.S.

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow*

Keywords: cold gas dynamic spraying, cohesive strength, adhesive strength, wear, tribological properties.

Abstract. Two copper and copper-zinc coatings on a steel substrate obtained by cold gas-dynamic spraying are considered. The influence of technological modes of their application on the properties of coatings, such as temperature and time of subsequent heat treatment, is evaluated. It is certain that the adhesive strength of the copper coating applied at a temperature of 540°C can reach 48.6 MPa. The cohesive strength of the copper-zinc coating applied at 450°C is 78 MPa, and the copper coating applied at 180°C is 165 MPa. The investigated copper and copper-zinc coatings showed high tribological properties during wear in an industrial oil environment, performing a reciprocating motion of the friction pair. The research results allow us to recommend copper and copper-zinc coatings obtained by gas-dynamic spraying for use in the repair of functional surfaces of machinery and equipment.

Восстановление и ремонт поврежденных или изношенных рабочих поверхностей деталей машин и оборудования в кратчайшие сроки является важнейшей задачей современного машиностроения. Одним из способов регенерации и модифицирования функциональных поверхностей, в частности трибологического назначения, является холодное газодинамическое напыление

покрытий медь и медь-цинк. Преимуществами газодинамических покрытий являются возможность их нанесения в полевых условиях, используя мобильность газодинамических установок, при этом разогрев стальной подложки не будет превышать 135°C, а также способность получать покрытия толщиной более 1 мм при любой геометрии поверхности подложки [1]. К недостаткам таких покрытий относится то, что на изделие наносится всего 30% исходного объема используемого порошка. Покрытие наносится полосками (слоями) шириной 5 мм, имеющими форму полукруга в сечении. Свойства получаемых покрытий существенно зависят от технологических режимов их нанесения.

Покрытия на основе меди и медь-цинк наносились на подложку из стали 40Х. Когезионная прочность покрытий определялась методом кольцевого отрыва, а адгезионная методом сдвига [2]. Когезия покрытия меди с ростом температуры нанесения от 180°C до 540°C снижается с 165 до 86 МПа, а адгезия возрастает с 17 до 49 МПа. Когезия покрытия медь-цинк составляет 78 МПа при температуре его нанесения 450°C. Термическая обработка покрытия медь-цинк в печи при температуре 425°C вначале приводит к снижению когезионной прочности (рис. 1).

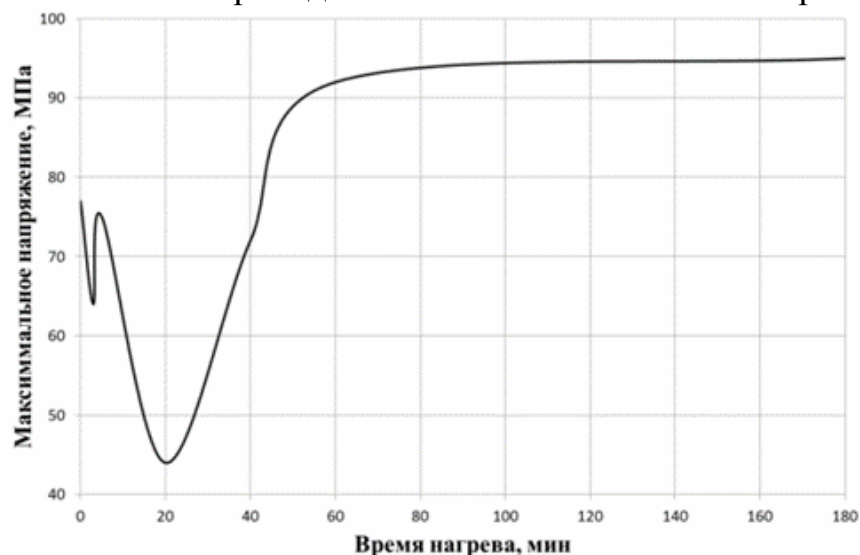


Рис. 1. Зависимость когезионной прочности покрытий на основе смеси частиц меди и цинка от времени термической обработки при температуре 425°C

Однако, после 40 мин нахождения такого покрытия в печи когезионная прочность растет и достигает максимума 95 МПа при 180 мин термической обработки, при этом происходит диффузия цинка в медь с формированием покрытия, которое по химическому и фазовому составу соответствует латуни марки Л65.

Трибологические испытания покрытий медь и медь-цинк проводили в паре со сталью ШХ15, имеющей твердость 45 HRC. Пара трения совершала возвратно-поступательное движение в среде промышленного масла со скоростью скольжения 0,19 м/с. Удельная нагрузка в зоне контакта ступенчато изменялась от 0,1 до 10 МПа [3].

Покрытие меди, нанесённое при температуре 450°C, показало высокую износостойкость, при этом интенсивность изнашивания составила I_h (покрытия) $\approx (1,1-1,5) \times 10^{-10}$ и I_h (контртела) $\approx 0,3 \times 10^{-11}$ при трении в минеральном масле И-20А.

Покрытие меди, нанесённое при температуре 270°C, показало несколько более низкую износостойкость I_h (покрытия) $\approx (2,2-2,6) \times 10^{-10}$ и I_h (контртела) $\approx 0,4 \times 10^{-11}$ при трении в минеральном масле И-20А.

Покрытие медь-цинк показало незначительный износ во время приработки при низких контактных давлениях и его отсутствие при повышении давления вплоть до 10 МПа. При этом реализовывался режим избирательного переноса покрытия на контртело и наоборот.

Результаты испытаний показали, что, меняя технологические режимы нанесения покрытия, такие как температура нанесения и время термической обработки, можно получать покрытия с высокими механическими свойствами:

– для покрытия меди максимальная когезионная прочность может составлять 165 МПа при температуре нанесения 180°C, а адгезионная 48,6 МПа при температуре нанесения 540°C, при этом минимальный износ достигается при температуре нанесения 450°C;

– для покрытия медь-цинк максимальная когезионная прочность может составлять 95 МПа при температуре нанесения 450°C и последующей термической обработке в течении 180 мин, а отсутствие износа также достигается при температуре нанесения 450°C.

Полученные результаты позволяют рекомендовать покрытия медь и медь-цинк, полученные газодинамическим напылением при оптимальных технологических режимах, для восстановления и ремонта поврежденных или изношенных рабочих поверхностей деталей машин и оборудования.

Список литературы

1. Димет. Применение технологии и оборудования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dimet-r.narod.ru/>
2. Архипов В.Е., Лондарский А.Ф., Москвитин Г.В., Пугачев М.С. Газодинамическое напыление: структура и свойства покрытий. – М.: КРАСАНД, 2017. – 240 с.
3. Куксенова Л.И., Архипов В.Е., Лондарский А.Ф., Москвитин Г.В., Пугачев М.С. Триботехнические свойства металлических покрытий, нанесенных газодинамическим напылением // Перспективные методы поверхностной обработки деталей машин. – М., 2018. – С. 288-301.

Сведения об авторах:

Архипов Владимир Евгеньевич – к.т.н., в.н.с.;

Москвитин Геннадий Викторович – д.т.н., профессор, заведующий лабораторией;

Пугачев Максим Сергеевич – н.с.

УДК 368.3.068

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ПАССИВНОЙ СИСТЕМЫ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ИЗДЕЛИЯ «УРАЛ-12»

Чистов Е.С.

АО «Научно-производственное предприятие «Рубин», Пенза

Ключевые слова: виброизоляторы, установочная платформа, внешнее вибрационное воздействие, радиоэлектронные средства, амплитудно-частотные характеристики.

Аннотация. Для выявления наиболее эффективных виброизоляторов для опытного образца пассивной системы виброизоляции изделия «Урал-12» (модель 5012) были проведены экспериментальные исследования при воздействии синусоидальной вибрации, по результатам которых выбрано четыре виброизолятора тросового типа. На основе данных экспериментальных исследований была выявлена оптимальная конструкция установочной платформы и виброизоляторов, которая способна выдерживать нагрузки резонансных частот в диапазоне от 5 до 500 Гц, в соответствии с требованиями группы исполнения 1.4.1 и группы 1.3. (по ГОСТ РВ 20.39.304-98).

EXPEREMENTAL STUDIES OF THE DESIGN OF A PASSIVE VIBRATION ISOLATION SYSTEM FOR THE «URAL-12» PRODUCT

Chistov E.S.

JSC "Scientific and Production Enterprise "Rubin", Penza

Keywords: vibration insulators, installation platform, external vibration effect, radio-electronic means, amplitude-frequency characteristics.

Abstract. To identify the most effective vibration isolators for the prototype of the passive vibration isolation system of the Ural-12 product (model 5012), experimental studies were conducted under the influence of sinusoidal vibration, according to the results of which four cable-type vibration isolators were selected. Based on experimental research data, the optimal design of the installation platform and vibration isolators was identified, which is capable of withstanding loads of resonant frequencies in the range from 5 to 500 Hz, in accordance with the requirements of performance group 1.4.1 and group 1.3. (According to GOST RV 20.39.304-98).

Проведение опытно-конструкторских работ по созданию новых технических средств (ТС) подразумевает необходимость подтверждения достигнутых тактико-технических характеристик с помощью экспериментальных исследований [1, 2]. Для подтверждения устойчивости опытного образца [3] пассивной системы виброизоляции (ПСВ) к синусоидальной вибрации амплитудой от 2мм до 5g в диапазоне частот 5-500 Гц (группа исполнения 1.4.1 и группа 1.3 по ГОСТ РВ 20.39.304-98) в испытательном центре АО «НПП «Рубин», были проведены экспериментальные исследования согласно методике изложенной в ГОСТ РВ 20.57.305-98.

В ходе проведения работ на установочную платформу с четырьмя виброизоляторами тросового типа был закреплен массогабаритный макет изделия «Урал-12» (модель 5012). Решалась задача определения динамических характеристик колебательной системы, состоящей из ПСВ и объекта виброзащиты [4].

Для исследований был выбран вибростенд TIRA TV59327. Места закрепления измерительных датчиков на объекте виброзащиты показаны на рисунке 1.

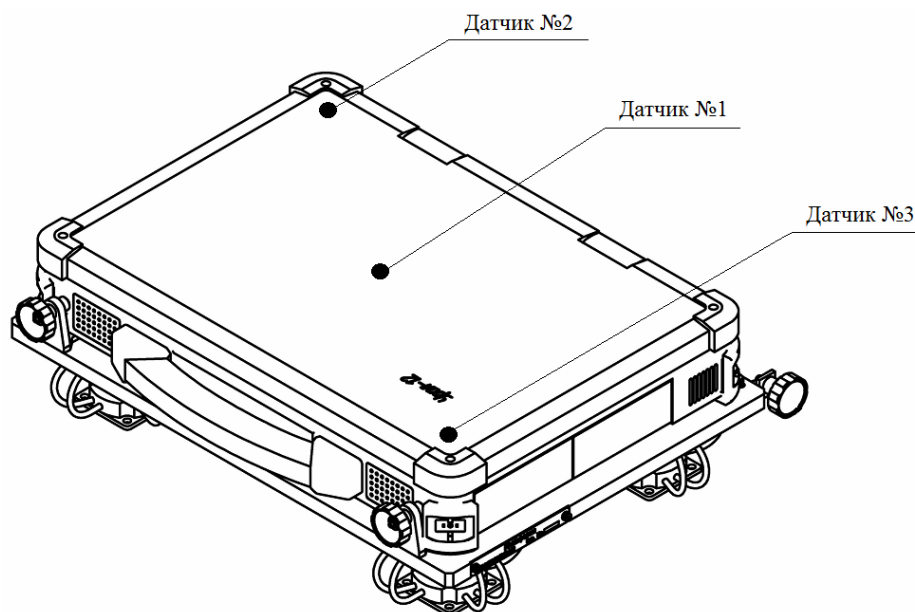


Рис. 1. Схематическое изображение мест крепления датчиков: 1 – в основной контрольной точке; 2 и 3 – в дополнительных контрольных точках

Полученные результаты исследования разработанной ПСВ показаны в виде АЧХ на рисунке 2. Из графика АЧХ следует, что основная (первая) резонансная частота системы находится в районе 12 – 14 Гц и имеет коэффициент динамичности $\mu \approx 4$, что позволяет обеспечить передачу на РЭА вибрационное воздействие с амплитудой не более 50 м/с^2 (5g) в рабочем диапазоне частот, что соответствует требованиям ГОСТ РВ 20.39.304-98.

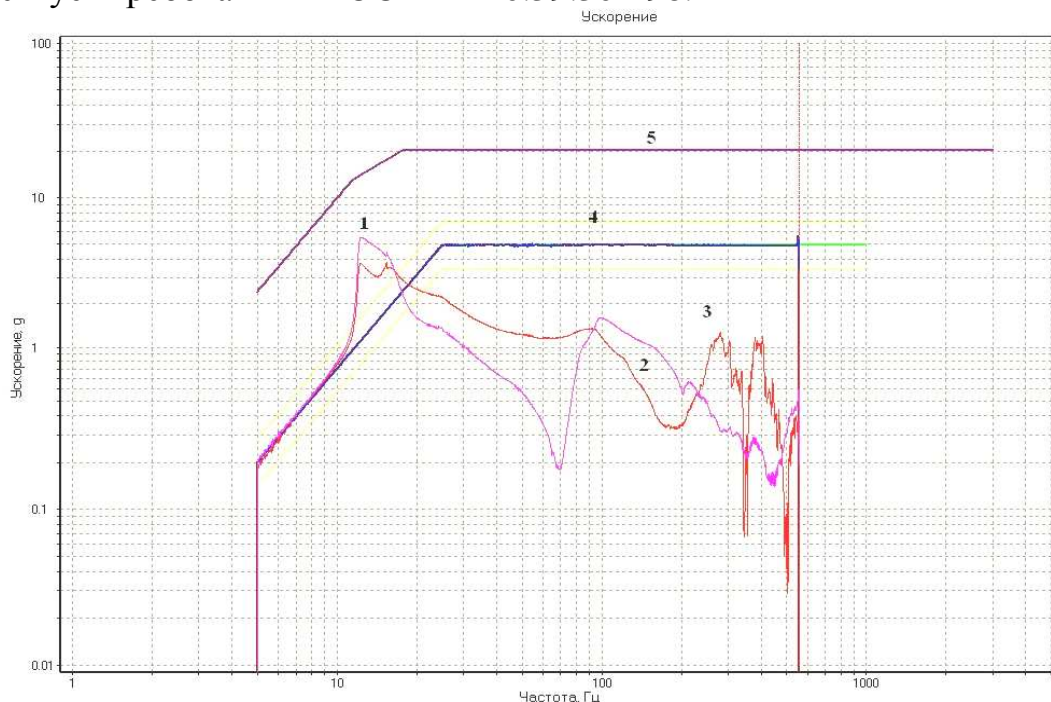


Рис. 2. АЧХ разработанной ПСВ с установленным массогабаритным макетом изделия «Урал-12»: 1 – вибрации в основной контрольной точке; 2 и 3 – вибрации в дополнительных контрольных точках; 4 – внешнее вибрационное воздействие; 5 – уровень ограничения (перегрузки) вибростенда

После успешного проведения испытаний разработанной ПСВ с массогабаритным макетом изделия «Урал-12», проведены испытания функционального образца изделия «Урал-12» на прочность после воздействия синусоидальной вибрации в диапазоне частот.

Испытания изделия «Урал-12», установленного на разработанную ПСВ, проводились в выключенном состоянии. После выполнения проверки изделия на функционирование, установлены начальные значения параметров работы вибростенда в соответствии с таблицей 1.

Табл. 1. Нормы испытаний на прочность

Диапазон частот, Гц	Частота перехода, Гц	Амплитуда виброперемещения, мм	Амплитуда виброускорения, м/с^2 (g)	Общая продолжительность воздействия, ч
5 – 500	25	2,0	49,05 (5)	30

Плавно уменьшали частоту колебания платформы и задали вибрационные нагрузки в соответствии с таблицей 1. Изменение частоты в пределах каждого поддиапазона производили плавно продолжительностью не менее 1 мин, а затем произвести выдержку на нижней частоте поддиапазона в течение времени и при амплитуде виброускорения или амплитуде виброперемещения, приведенных в таблице 1. Повторили последовательно указанные действия до достижения минимального значения частоты колебания платформы вибростенда. Общая продолжительность испытания – 30 ч. После окончания испытания выполнена проверка изделия на функционирование. Результаты испытаний подтвердили способность ПСВ обеспечить необходимый уровень стойкости объекта виброзащиты к синусоидальной вибрации.

Выводы

Проведение экспериментального исследования позволило разработать оптимальную конструкцию ПСВ и подтвердить отсутствие собственных частот в рабочем диапазоне частот (5-500 Гц), что наиболее полно соответствующие требованиям к изделиям группы исполнения 1.4.1 и группа 1.3, предъявляемым ГОСТ РВ 20.39.304-98.

Список литературы

1. Юрков Н.К., Затылкин А.В., Полесский С.Н., Иванов И.А., Лысенко А.В. Информационная технология многофакторного обеспечения надежности сложных электронных систем // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 75-79.
2. Федоров В., Сергеев Н., Кондрашин А. Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств. – М.: Техносфера, 2005. – 504 с.
3. Кутровский П.В. Исследование и разработка виброзащиты радиотехнических устройств методом частотной отстройки: Дисс. ... канд. техн. наук. – Владимир, 2009. – 136 с.
4. Грошенков М.В., Затылкин А.В., Голушко Д.А. Разработка конструкции пассивной системы виброзащиты радиоэлектронной аппаратуры машин автоматизированного управления специального назначения // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2018. – №2. – С. 229-232.

Сведения об авторе:

Чистов Евгений Сергеевич – инженер по испытаниям 2 категории отдела надежности и испытаний.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В АСПЕКТЕ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Муравьев А.Г.¹, Шифрин Б.М.²

¹ФГУП Крыловский государственный научный центр;

*²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург*

Ключевые слова: информационная безопасность, автоматизированная система управления технологическим процессом, критическая информационная инфраструктура.

Аннотация. До недавнего времени в большинстве случаев основными источниками угроз информационной безопасности предприятий машиностроительного сектора являлись конкурирующие организации целью которых являлось получение коммерческой информации или преступные элементы, действующие в корыстных целях. Но в настоящее время на передний план выходит интерес к объектам промышленности разведслужб и диверсионных групп из недружественных России стран.

INFORMATION SECURITY IN THE ASPECT OF THE DEVELOPMENT OF MODERN MECHANICAL ENGINEERING

Muravyev A.G.¹, Shifrin B.M.²

¹FGUP «Krylov State Research Center»;

²Saint-Petersburg State Forestry University n.a. S.M. Kirov, Saint-Petersburg

Keywords: information security, automated process control system, critical information infrastructure.

Abstract. Until recently, in most cases, the main sources of threats to the information security of enterprises in the engineering sector were competing organizations whose purpose was to obtain commercial information, or criminal elements acting for personal gain. But at present, interest in the objects of industry of intelligence services and sabotage groups from countries unfriendly to Russia is coming to the fore.

В настоящее время в значительной степени повысилась актуальность обеспечения информационной безопасности, как в промышленности в целом, так и на предприятиях машиностроения в частности, в особенности на предприятиях, отнесённых в соответствии с Федеральным законом от 26.07.2017 N 187-ФЗ "О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации" к субъектам критической информационной инфраструктуры [1].

В отношении организаций различной организационно-правовой формы усилилось государственное регулирование в области ИБ, в 2022 году опубликованы: Указ Президента Российской Федерации от 01.05.2022 № 250 «О дополнительных мерах по обеспечению информационной безопасности Российской Федерации» [2], Постановление Правительства Российской Федерации от 15.07.2022 № 1272 "Об утверждении типового положения о заместителе руководителя органа (организации), ответственном за обеспечение информационной безопасности в органе (организации), и типового положения о

структурном подразделении в органе (организации), обеспечивающем информационную безопасность органа (организации) [3].

Управление современным машиностроительным предприятием уже невозможно представить без использования информационных систем.

Информационные системы обеспечивают достоверность и актуальность информации, так необходимой для принятия своевременных управленческих решений, на уровень автоматизации производства, который повышает эффективность использования ресурсов и поддержание необходимого уровня качества выпускаемой предприятием продукции.

Развитие ANSI/ISA-95 (IEC 62264)

Основные поддерживаемые задачи

- ✓ Стратегическое управление
- ✓ Анализ показателей деятельности предприятия
- ✓ Производственно-экономическое моделирование
- ✓ Консолидация отчетности

- ✓ Управление запасами
- ✓ Управление снабжением
- ✓ Управление сбытом
- ✓ Управление производством
- ✓ Управление проектами
- ✓ Планирование
- ✓ Управление сервисным обслуживанием
- ✓ Управление поставками
- ✓ Управление финансами
- ✓ Управление персоналом
- ✓ Проектирование

- ✓ Управление документооборотом
- ✓ Управление ИТ-сервисами
- ✓ Управление ИБ

- ✓ Оперативное/Детальное планирование производства
- ✓ Оперативно-диспетчерское управление производством
- ✓ Управление технологической документацией
- ✓ Управление качеством продукции
- ✓ Управление производственными процессами
- ✓ Анализ производительности

- ✓ Сбор технологических параметров
- ✓ Визуализация технологических параметров
- ✓ Автоматический контроль технологических параметров
- ✓ Управление технологическим процессом
- ✓ Контроль действий оператора



Рис. 1. Развитие ANSI/ISA-95 (IEC 62264)

На рисунке 1 [4] представлены основные задачи и виды информационных систем, обеспечивающие выполнение решений по этим задачам.

Наиболее критическим уровнем для управления производством машиностроительного предприятия является уровень технологического управления. Автоматизированными системами управления технологическими процессами обеспечивается непосредственное управление технологическим оборудованием производства, в том числе в автоматическом режиме. Негативное воздействие, оказываемое вследствие проведения компьютерной атаки, может привести к катастрофическим последствиям для производства в том числе к необратимым последствиям и причинению значительного ущерба, как материальным, так и человеческим ресурсам предприятия. Именно выход из строя объектов АСУ ТП зачастую связан с угрозой жизни и здоровью людей, что закономерно трактуется как более высокая степень опасности последствий [5].

При этом вопросам защищенности компонентов информационных систем АСУ ТП и АСКУЭ, как правило, уделяется наименьшее внимание. Информация в таких системах в основном передается или по локальным каналам сетей

технологической связи предприятия, не имеющим выхода в общедоступную сеть Интернет или переносится при помощи съемных носителей информации (флеш-накопителями), что в большинстве случаев для обеспечения ИБ считается достаточным и не требующим дополнительного внимания от подразделений предприятия, контролирующего обеспечение ИБ. В свою очередь уровень подготовки в области ИБ технических специалистов, непосредственно обеспечивающих управление и техническое обслуживание таких систем недостаточен для эффективного решения задач ИБ.

Информационная безопасность (далее-ИБ) современного предприятия машиностроительного комплекса ставит для себя целью обеспечение конфиденциальности, целостности (сохранности) и доступности информации необходимой для эффективной деятельности предприятия.

1. Мероприятия организационного характера включают в себя организацию системы обеспечения ИБ информационных систем предприятия, выделение и распределение ответственности между работниками предприятия участвующими в обеспечении системы ИБ, регламентацию и формирование правил обеспечивающих выполнение требований по защите и реагированию на инциденты ИБ.

2. К техническим мероприятиям относят использование средств защиты информации (далее-СЗИ) к которым относят: аппаратно-программные средства, средства обеспечения контроля утечек информации, антивирусные программы, средства межсетевого экранирования, технические средства физической защиты и т.п.

Организационные мероприятия реализуются в рамках правил и регламентов, определяемых политикой информационной безопасности предприятия, качество и детальность проработки политики безопасности обеспечивает основу всей информационной безопасности предприятия.

В политике информационной безопасности должны рассматриваться следующие вопросы: меры противодействия компьютерным атакам, политика управления конфигурацией автоматизированной системы управления (далее – АСУ), порядок проведения аудита АСУ, план действий сотрудников при возникновении нештатных ситуаций в АСУ, контроль и обеспечение своевременных обновлений антивирусных программ, обновление операционных и прикладных систем, связанных с устранением актуальных уязвимостей.

Технические мероприятия реализуются по результатам определения актуальных угроз безопасности информации с учетом выявленных уязвимостей защищаемой информационной системы. При реализации технических мероприятий так, же необходимо учитывать оснащение техническими и инженерными средствами, обеспечивающими физическую защиту зданий, помещений и сооружений где размещается оборудование или проходят информационные каналы для передачи данных системы.

Как и в любой другой отрасли промышленности цели ИБ в машиностроении могут быть достигнуты только при условии обеспечения системного подхода и реализации всего комплекса организационно-технических мероприятий ИБ.

Список литературы

1. Федеральный закон "О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации" от 26.07.2017 N 187-ФЗ (последняя редакция) [Электронный-ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_220885/.
2. Указ Президента РФ от 01.05.2022 N 250 "О дополнительных мерах по обеспечению информационной безопасности Российской Федерации" [Электронный-ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_416198/.
3. Постановление Правительства РФ от 15.07.2022 N 1272 "Об утверждении типового положения о заместителе руководителя органа (организации), ответственном за обеспечение информационной безопасности в органе (организации), и типового положения о структурном подразделении в органе (организации), обеспечивающем информационную безопасность органа (организации)" [Электронный-ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_422465/.
4. Развитие ANSI/ISA-95 (IEC 62264) [Электронный-ресурс]. – Режим доступа: [https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:%D0%A0%D0%B0%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%B5_ANSI_ISA-95_\(IEC_62264\).png](https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:%D0%A0%D0%B0%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%B5_ANSI_ISA-95_(IEC_62264).png)
5. Конявский В., Конявская С. Повышение защищенности автоматизированных систем управления технологическими процессами [Электронный-ресурс] // Информационная безопасность. – 2023. – №1. С. 43. – Режим доступа: https://cs.groteck.com/IB_1_2023/42/.

Сведения об авторах:

Муравьев Александр Георгиевич – заместитель руководителя центра;

Шифрин Борис Маркович – к.т.н., доцент.

ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДА ПРЕССОВАНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ЧЕТЫРЕХКРАТНЫМ ОТНОШЕНИЕМ ДЛИНЫ К ДИАМЕТРУ

Жариков А.Н., Жигалов А.Н., Башаримов М.В.

*Институт технологии металлов Национальной академии наук Беларуси,
Могилев, Беларусь*

Ключевые слова: твердый сплав, твердосплавная смесь, металлокерамика, формование, прессование.

Аннотация. В работе отражены особенности формования твердосплавных смесей в процессе создания заготовок с соотношением длины к диаметру большим, чем 4/1. Описаны методы формования твердосплавных смесей, которые позволяют производить твердосплавные заготовки с указанным соотношением размеров. Также предложена концепция нового метода, который лишен недостатков уже существующих.

FEATURES OF FORMING HARD ALLOY MIXTURES IN THE PROCESS OF CREATING BLANKS WITH A LENGTH TO DIAMETER RATIO GREATER THAN 4/1

Zharykau A.N., Jigalov A.N., Basharimov M.U.

*Institute of Metal Technology of the National Academy of Sciences of Belarus, Mogilev,
Belarus*

Keywords: hard alloy, hard alloy mixture, metal-ceramic, forming, pressing.

Abstract. The paper reflects the features of forming hard alloy mixtures in the process of creating blanks with a length to diameter ratio greater than 4/1. The methods of forming hard alloy mixtures that allow producing hard alloy blanks with the specified size ratio are described. Also, a concept of a new method that is free from the disadvantages of existing ones is proposed.

Твердый сплав (металлокерамика) – это твердый и износостойкий материал, который сохраняет свои свойства при высоких температурах, как правило до 900-1000°C. Твердый сплав находит применение в различных областях, например [1]:

- изготовление инструмента для обработки материалов резанием (резцы, сверла, фрезы и протяжки, а также сменные и напайные пластины для них);
- изготовление инструмента для обработки материалов давлением (рабочие части клейм, волок, штампов и матриц);
- изготовление рабочих частей горнодобывающего и рудообрабатывающего оборудования;
- изготовление износостойких подшипников (шарики, ролики, обоймы);
- изготовление прочих быстроизнашивающихся деталей машин, приборов и измерительного инструмента.

Изделия из твердого сплава производят по технологическим процессам порошковой металлургии, и основными этапами производственного цикла являются подготовка твердосплавной смеси, формование и спекание.

Качество твердосплавных изделий с соотношением длины к диаметру более 4-х сильно зависит от этапа формования. При этом из широкого перечня основных методов формования твердосплавных смесей (прессование в жесткой пресс-форме, последовательно-циклическое прессование, горячее прессование, импульсное прессование, изостатическое прессование, вибрационное формование, прокатка порошков, мундштучное выдавливание, литье под давлением или инжекционное формование, шликерное литье, сварка спеканием под давлением, метод пластифицированных заготовок, мокрое прессование) не все пригодны для создания подобных изделий, а многие являются узкоспециальными или высокзатратными, при этом требующими дополнительного оборудования либо вовсе альтернативного [2].

Самым распространенным и доступным методом формования твердосплавных смесей является прессование в жесткой пресс-форме. Многие вышеперечисленные методы так или иначе базируются на прессовании в жесткой пресс-форме и являются модификациями данного метода. Иллюстрация процесса прессования в жесткой пресс-форме приведена на (рис.1): этап I – засыпка твердосплавной смеси в матрицу; этап II – уплотнение смеси (прессование) посредством движения верхнего или встречного движения верхнего и нижнего пуансонов (двустороннее прессование), на этом этапе задается степень уплотнения заготовки и ее форма; этапе III – выпрессовка компактированной заготовки, готовой для спекания [3].

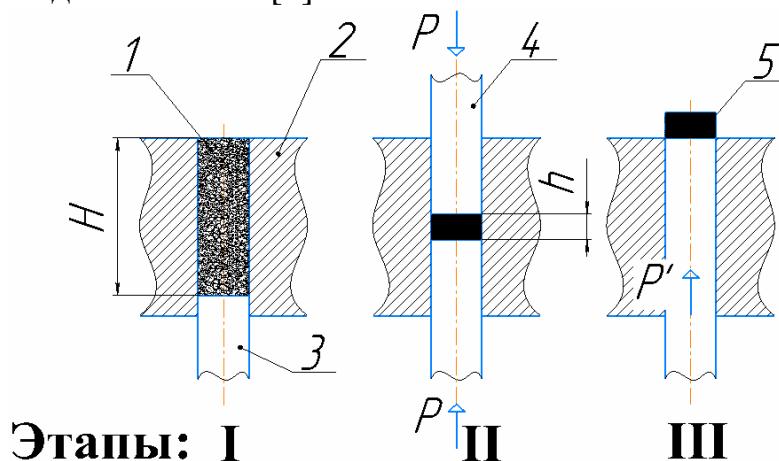


Рис. 1. Иллюстрация процесса прессования в жесткой пресс-форме: 1 – твердосплавная смесь; 2 – матрица; 3 – нижний пуансон; 4 – верхний пуансон; 5 – компактированная заготовка

Рассматриваемый метод является весьма технологичным, но не пригоден для создания заготовок с соотношением длины к диаметру более 4-х, т.к. не обеспечивает требуемой равномерности распределения плотности заготовки по всему ее объему. Как результат при спекании заготовки с таким соотношением габаритов, недостаточная равномерность приводит к короблению изделия и созданию избыточных внутренних напряжений, которые снижают прочностные характеристики готового изделия. Даже применение двустороннего прессования не позволяет добиться требуемой равномерности. Поэтому на базе данного метода были разработаны такие его модификации как: последовательно-циклическое прессование, вибрационное формование, мокрое прессование. Они

позволяют преодолеть ограничения по габаритному соотношению, но имеют существенные недостатки. Так, для последовательно-циклического прессования – увеличенное время всего процесса прессования за счет поэтапного досыпания и прессования добавляемых порций твердосплавной смеси до получения прессовки требуемой высоты (длины). Для вибрационного формования – необходимость в наличии дорогостоящего пресс-оборудования и специальной оснастки. А для мокрого прессования – увеличенное время всего процесса за счет наличия этапа сушки.

Все вышеперечисленное создает предпосылки для разработки более технологичного метода, позволяющего реализовать получение прессовок с четырехкратным отношением длины к диаметру. Разрабатываемый в ИТМ НАН Беларуси метод прессования твердосплавных смесей с одновременным приложением энергии резонансных волн, генерирующихся при аэродинамическом звуковом воздействии, предположительно, позволит увеличить подвижность частиц твердосплавной смеси, что положительно повлияет на ее прессуемость. Улучшенная прессуемость в свою очередь увеличит равномерность распределения плотности заготовки по всему ее объему. Так же ожидается, что будут снижены требуемые давления прессования, это уменьшит риски появления расслоенных трещин, которые приводят к появлению брака.

Список литературы

1. Жигалов А.Н., Шелег В.К. Теоретические основы аэродинамического звукового упрочнения твердосплавного инструмента для процессов прерывистого резания: монография. – Могилев: МГУП, 2019. – 213 с.
2. Панов В.С., Еремеева Ж.В. Технология и свойства и область применения спеченных твердых сплавов : учебное пособие. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 148 с.
3. Логинов Ю.Н. Технология производства заготовок из твердых сплавов: учебное пособие. Урал. политехн. ин-т. – Свердловск: УПИ, 1984. – 53с.

Сведения об авторах:

Жариков Артём Николаевич – младший научный сотрудник;

Жигалов Анатолий Николаевич – д.т.н., директор ИТМ НАН Беларуси;

Башаримов Максим Владимирович – ведущий инженер.

УДК 004.942

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СТАНДАРТОВ В ОБЛАСТИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Янин Н.П.

Московский государственный технологический университет «Станкин», Москва

Ключевые слова: цифровое производство, ГОСТ Р ИСО/ТУ 15926, ГОСТ Р ИСО 55000, цифровая модель изделия, цифровая модель детали, цифровой двойник, жизненный цикл, единое информационное пространство.

Аннотация. Статья описывает существующие в России стандарты и правила создания и использования цифровых двойников, которые периодически улучшаются и изменяются в связи с быстро развивающейся технологией. В тексте рассмотрены основные стандарты, такие как ГОСТ Р ИСО/ТУ 15926 и ГОСТ Р ИСО 55000, а также другие документы, устанавливающие требования к системам управления активами и процессам жизненного цикла программного обеспечения. Стандарты цифровых двойников в России обеспечивают эффективное сотрудничество и совместимость технологий на международном уровне.

ANALYSIS OF MODERN STANDARDS IN THE FIELD OF DIGITAL DOUBLES

Yanin N.P.

Moscow state technological university «Stankin», Moscow

Keywords: digital production, GOST R ISO/TU 15926, GOST R ISO 55000, digital product model, digital part model, digital twin, life cycle, unified information space.

Abstract. The article describes the existing standards and rules for the creation and use of digital doubles in Russia, which are periodically improved and changed due to the rapidly developing technology. The text discusses the main standards, such as GOST R ISO/TU 15926 and GOST R ISO 55000, as well as other documents that establish requirements for asset management systems and software lifecycle processes. The standards of digital doubles in Russia ensure effective cooperation and compatibility of technologies at the international level.

Как и в любой другой стране, в России существуют определенные стандарты и правила для создания и использования цифровых двойников. Однако, поскольку технология создания и использования цифровых двойников достаточно новая и быстро развивающаяся, эти стандарты могут постоянно изменяться и улучшаться.

В настоящее время в России существуют несколько ключевых стандартов, относящихся к цифровым двойникам. Один из них – это стандарт ГОСТ Р ИСО/ТУ 15926, который был принят в 2018 году и является адаптацией международного стандарта ISO 15926. Этот стандарт определяет набор терминов, понятий и классификаций, связанных с цифровыми двойниками, а также описывает процессы и требования для их создания, обмена и использования. Еще один важный стандарт, связанный с цифровыми двойниками, – это стандарт ГОСТ Р ИСО 55000, который устанавливает требования к системам управления активами, в том числе к цифровым двойникам. Он определяет принципы управления активами, ресурсы для управления, документацию и процессы

проектирования, развития, эксплуатации и утилизации систем управления активами.

Кроме того, есть и другие стандарты, такие как ГОСТ Р 54708-2011 "Информационные технологии. Процессы жизненного цикла программного обеспечения. Управление конфигурацией", ГОСТ Р 8.601-2003 "Единый системный автоматизированный инструментарий проектирования", ГОСТ Р 55618-2013 "Информационные технологии. Архитектура цифровой модели.

ГОСТ Р ИСО/ТУ 15926 и ГОСТ Р ИСО 55000 – это два разных стандарта, хотя и имеющих общую тематику: обеспечение качества и управление активами. Отличия между ними заключаются в том, что ГОСТ Р ИСО/ТУ 15926 фокусируется на создании единой модели данных для различных организаций, а ГОСТ Р ИСО 55000 описывает систему управления активами, которая включает в себя множество других стандартов и процессов.

В зарубежных аналогичных стандартах, например, ISO 55001 и ISO 15926 как полностью рекомендуемые международные стандарты, имеют ту же основную тему и описывают принципы и практики управления активами и данных соответственно. Однако они имеют свои уникальные особенности и требования, отличающие их друг от друга и от соответствующих ГОСТ-стандартов.

Российские стандарты цифровых двойников позволяют создавать и использовать эти инновационные технологии соответствующим и эффективным ключом. Они определяют общие подходы и принципы работы с цифровыми двойниками, что помогает обеспечить их гармоничное сотрудничество и совместимость в рамках РФ и взаимодействие на международном уровне. Цифровые двойники являются важной технологией в машиностроении и способны значительно улучшить процессы проектирования, производства и эксплуатации. Применение цифровых двойников в проектировании помогает ускорить и улучшить процесс разработки, позволяя инженерам получить более точную и реалистичную модель продукта. Такие модели могут использоваться для симуляции различных сценариев и проверки работоспособности продукта до его физического создания. Это позволяет не только сократить время на проектирование, но и минимизировать затраты на исправление ошибок. Применение цифровых двойников также позволяет улучшить процессы производства. С их помощью можно смоделировать и оптимизировать процессы производства, чтобы снизить партии брака, повысить качество продукта и сократить затраты на производство.

Еще одной важной областью применения цифровых двойников являются процессы эксплуатации и обслуживания. Использование цифровых двойников позволяет прогнозировать и предотвращать проблемы в работе оборудования, оптимизировать процессы ремонта и обслуживания, а также повысить общую эффективность работы. Кроме того, использование цифровых двойников способствует улучшению социальных и экологических параметров, таких как улучшение условий труда, повышение безопасности и снижение негативного влияния на окружающую среду.

Таким образом, применение цифровых двойников имеет значительные преимущества в машиностроении и способно улучшить процессы проектирования, производства и эксплуатации.

Российские стандарты цифровых двойников в основном соответствуют мировым стандартам, таким как ISO, IEC или IEEE. Их цель – обеспечить стандартизацию и взаимную совместимость между различными системами на основе цифровых двойников.

В целом можно сказать, что российские стандарты цифровых двойников не сильно отличаются от мировых стандартов. Однако, для применения в России следует учитывать законодательство, требования и правила регулирования, которые могут отличаться от мировых.

Список литературы

1. Шваб К. Четвертая промышленная революция: монография: пер. с англ. – М.: Изд-во «Э», 2017. – 208 с.
2. Столяренко А.В., Данильченко А.А. Применение информационно-коммуникационных технологий в деятельности предприятий туристской сферы. // Современные научные исследования и инновации. – 2017. – № 1. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2017/01/77660>.
3. Янин Н.П. Анализ современных подходов и лучших практик в области умных производств и «Индустрии 4.0» // Просвещение и познание. – 2021. – №5(5). – С. 3-11.

Сведения об авторе:

Янин Николай Павлович – аспирант.

ФОРМИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ В ФИЗИЧЕСКОМ ПРАКТИКУМЕ

Бирюкова И.П.¹, Панюшкин Н.Н.²

¹*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж;*

²*Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж*

Ключевые слова: физический практикум, исследовательские компетенции, компетентностно-ориентированные задания.

Аннотация. Рассматриваются педагогические условия для формирования исследовательских компетенций студентов инженерных специальностей и направлений подготовки в лабораторном практикуме по физике. Условия включают требования к лабораторному оборудованию и системе компетентностно-ориентированных экспериментальных заданий, а также необходимость дополнения лабораторных работ компьютерным моделированием наблюдаемых в экспериментах физических явлений.

RESEARCH COMPETENCIES FORMATION IN A PHYSICS PRACTICUM

Biryukova I.P.¹, Panyushkin N.N.²

¹*Military Educational and Scientific Center of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy», Voronezh;*

²*Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, Voronezh*

Keywords: physics practicum, research competencies, competence-oriented tasks.

Abstract. The pedagogical conditions for forming engineering students' research competencies in a laboratory workshop in physics are considered. The conditions include requirements for laboratory equipment and a system of competence-oriented experimental tasks, as well as the need to supplement laboratory work with computer simulation of phenomena observed in experiments.

Курс физики в технических вузах обеспечивает начальный этап формирования общепрофессиональных компетенций, необходимых в проектной и исследовательской деятельности будущих инженеров, в частности, способностей применять методы научных исследований, а именно эксперимент и компьютерное моделирование, при решении проблем, возникающих в профессиональной деятельности. Формированию данных компетенций может способствовать обучающая среда в рамках физического практикума, в которой студенты имеют возможность приобрести опыт проведения исследований в условиях учебных лабораторий. Для этого необходимо выполнение следующих требований к организации лабораторных работ.

Во-первых, компетенции в области экспериментальных исследований предполагают способности к самостоятельной постановке целей и задач экспериментов, поэтому лабораторное оборудование должно обеспечивать разносторонние исследования изучаемых физических явлений и позволять трансформировать его в различных целях: для определения физических величин

по различным методикам, сравнения погрешностей разных методик измерения, варьирования степени полноты проводимых исследований и т.п. Для этого подходят, например, такие широко применяемые в лабораторных практикумах по физике установки, как маятник Обербека, маятник Максвелла, допускающий преобразование его в маховик, крутильный баллистический маятник. Данные установки позволяют проводить разнообразные эксперименты для изучения законов поступательного, вращательного и колебательного движений, а также определять зависимости моментов инерции от распределения массы относительно осей вращения на множестве образцов и разными методиками [1].

Во-вторых, эксперименты на лабораторных установках следует дополнять компьютерным моделированием изучаемых физических явлений. Это будет способствовать более глубокому и неформальному усвоению соответствующих теоретических положений, развитию способностей применять теоретические знания для решения экспериментальных задач и выполнять экспериментальную проверку адекватности и точности используемых математических моделей. Рекомендуется моделировать процессы, наблюдаемые на имеющихся лабораторных установках, с целью прогнозирования результатов и поиска оптимальных условий проведения экспериментов, а также сравнения результатов экспериментов с результатами моделирования с учетом различных факторов. Например, распределение Максвелла молекул идеального газа по скоростям и энергиям теплового движения может экспериментально изучаться на основе термоэлектронной эмиссии [2]. Соответствующие установки, как правило, ограничены в возможностях изменения температуры катода и вида вылетающих из катода частиц. Для более полного изучения влияния на распределение Максвелла его параметров и исследования зависимостей характеристических скоростей от температуры рекомендуется моделирование различных видов распределений термоэлектронов по скоростям, в том числе распределения Максвелла, а также моделирование теплового движения молекул различных разряженных газов.

В-третьих, в лабораторные работы необходимо включать компетентностно-ориентированные задания, рассматривающие изучаемые физические явления в контексте будущей профессиональной деятельности. Однако на начальном этапе обучения в вузе студенты еще не обладают специальными предметными знаниями и навыками проведения исследований в своей профессиональной сфере. Сложность физических явлений, протекающих в современных технических устройствах и технологических процессах, делает недоступным их теоретическое изучение для студентов младших курсов, а сложность профессионального измерительного оборудования не позволяет включать соответствующие эксперименты в лабораторный практикум по физике. В связи с этим для начального изучения физических свойств объектов будущей инженерной деятельности целесообразно использовать моделирование с помощью готовых компьютерных программ или специализированных математических систем. Например, при изучении реологических свойств неоднородных и анизотропных материалов можно представлять данные материалы различными соединениями идеально упругих (пружин) и идеально

вязких (демпферов с поршнями, движущимися в вязкой жидкости) тел. Нами составлена программа, которая на основе решения дифференциальных уравнений, соответствующих различным соединениям пружин и демпферов, позволяет получать зависимости упруго-эластических деформаций древесины от времени для различных напряжений, пород древесины, температуры, влажности и направлений относительно главных осей анизотропии образцов [3].

В-четвертых, необходимо иметь возможность варьирования сложности компетентностно-ориентированных заданий в соответствии с планируемым уровнем сформированности компетенций, который задается в рабочей программе дисциплины «Физика» в качестве результата ее усвоения. Например, с помощью комплекта лабораторного оборудования, включающего генератор электромагнитных колебаний и импульсов, вольтметр, амперметр, двулучевой осциллограф, наборы катушек, резисторов, конденсаторов, реостатов и соединительных проводов, можно организовать исследования затухающих колебаний в колебательном контуре и резонансных явлений в последовательном и параллельном колебательных контурах, эксперименты по определению добротностей и других параметров контуров различными методами, изучение свойств интегрирующих и дифференцирующих электрических цепей и тем самым реализовать различные уровни формирования исследовательских компетенций.

Таким образом, создание в физическом практикуме педагогических условий для проведения разносторонних экспериментальных исследований различной сложности и включения в лабораторные работы компьютерного моделирования позволяет формировать у студентов инженерных направлений подготовки исследовательские компетенции, а также оценивать уровни их сформированности.

Список литературы

1. Бирюкова И.П. Методика многоуровневой организации лабораторного практикума по физике // Машиностроение: инновационные аспекты развития: Материалы международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: СПбФ НИЦ МС, 2019. – №2. – С. 233-236.
2. Фомин С.В., Лукичев Д.Н. Распределения термоэлектронов по энергиям и // Физическое образование в вузах. – 2010. – Т. 16, №1. – С. 3-45.
3. Бирюкова И.П., Саушкин В.В., Камалова Н.С., Евсикова Н.Ю. Физика древесины: лабораторный практикум. – Воронеж: ВГЛТУ, 2018. – 73 с.

Сведения об авторах:

Бирюкова Ирина Петровна – к.п.н., доцент, доцент кафедры физики и химии;

Панюшкин Николай Николаевич – д.т.н., доцент, профессор кафедры общей и прикладной физики.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПРЕССА ДЛЯ КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Воробьев Д.И., Кузин А.О.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, Самара*

Ключевые слова: кривошипный пресс; виртуальная реальность, 3D моделирование, виртуальный двойник, программирование, анимация.

Аннотация. В данной работе рассматриваются процесс разработки методики создания виртуального двойника кривошипного пресса для кузнечно-штамповочного производства. По разработанной методике была получена детализированная и анимированная 3-D модель кривошипного пресса, которая наглядно демонстрирует кинематику движения всех рабочих элементов. С помощью игрового движка Unreal Engine 4 спроектировано виртуальное пространство, а также используя визуальный скриптинг через Blueprints определена логика взаимодействия обучающегося с объектами в виртуальном пространстве.

DEVELOPMENT OF A DIGITAL TWIN OF A PRESS FOR FORGING AND STAMPING PRODUCTION

Vorobev D.I., Kuzin A.O.

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara

Keywords: crank press; virtual reality, 3D modeling, virtual double, programming, animation.

Abstract. This paper discusses the process of developing a methodology for creating a virtual double of a crank press for forging and stamping production. According to the developed methodology, a detailed and animated 3-D model of the crank press was obtained, which clearly demonstrates the kinematics of the movement of all working elements. With the help of the Unreal Engine 4 game engine, a virtual space was designed, as well as using visual scripting through Blueprints, the logic of the student's interaction with objects in virtual space was determined.

Введение. Сложное кузнечно-штамповочное оборудование, содержащее большое количество подвижных элементов и электронных компонентов для успешной работы требует подготовки высококвалифицированных кадров. Тезисно можно выделить современные проблемы обучения в отрасли обработки металлов давлением/

- Для выполнения основных технологических процессов обработки металлов давлением требуется применение громоздкого и сложного оборудования [1].

- Тенденция последних лет идет на увеличение производственных травм во время обучения. В области ОМД основные показатели травматизма, такие как коэффициент частоты и коэффициент тяжести в 1,5-3,0 раза превышают общезаводские для других направлений производства [2, 3].

- При обучении идет простой и износ дорогостоящего оборудования, что ведёт к экономическим убыткам предприятия.

- Специализированное оборудование имеет высокую стоимость и большие габаритные размеры, что не могут позволить себе учебные заведения.

Решить данные проблемы возможно путем создания виртуального двойника реального оборудования и создания на его основе виртуального тренажера.

Методика создания виртуального двойника кривошипного пресса. На первом этапе создания виртуального двойника была подготовлена детализированная модель кривошипного пресса в масштабе 1:1 с реальным образцом оборудования.

На втором этапе для создания анимации использовался программный продукт Blender. Построение анимации происходит путем добавления «Ключевых кадров» на временном участке Timeline. Для этого каждый подвижный элемент пресса поочередно выделяется и добавляется ключевой кадр его положения в пространстве. Затем, используя функции Location, Rotation, Scale, на новом кадре по временной шкале производится перемещение всех кинематических пар.

Третьим этапом разработки виртуального двойника пресса является создание виртуального пространства. Для проектирования виртуального пространства применялся виртуальный движок Unreal Engine 4 [4]. Для создания виртуального пространства цеха на панель ассетов в меню Content Browser были импортированы 3D-модели цеха и внутреннего интерьера, а также 3D-модели анимированного ранее кривошипного пресса (рис. 1). С помощью системы визуального скриптинга Blueprints в Unreal Engine 4 была написана программа, позволяющая по нажатию на кнопку запустить анимацию работы кривошипного пресса в режиме одиночных ходов.



Рис. 1. Виртуальное пространство цеха

Закключение. В результате работы была разработана методика создания виртуального двойника кривошипного пресса КД2130, создана детализированная CAD модель оборудования, а также выполнена детальная анимация работы кривошипного пресса с учетом кинематики взаимодействия всех рабочих элементов. В программном продукте Unreal Engine 4 подготовлено виртуальное пространство, имитирующее реальные производственные условия, а также с помощью визуального скриптинга написана программа, позволяющая студенту взаимодействовать с подготовленной 3-D моделью.

Применение виртуальных тренажеров кузнечно-штамповочного оборудования, которые могут сохранить наглядность реального образца, а также полностью имитировать его работу, могут способствовать повышению качества процесса обучения сотрудников на производстве, а также студентов образовательных организаций и снизить показатели травматизма, возникающих в процессе обучения.

Список литературы

1. Игуменов А.А., Гречников Ф.В. Автоматизация технологической подготовки производства прессованных изделий авиационного назначения: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – Самара: Куйбышев. авиац. ин-т им. С.П. Королева, 1991.
2. Аствацатуров А.Е. , Щекина Е.В. Анализ причин производственного травматизма в машиностроении // Экология и технология: Ежегодник. – Ростов-на-Дону, 1997. – С. 85-93.
3. Ерёмина Т.А., Чепцова Ю.А. Оценка состояния производственного травматизма на примере ООО «Ростовского прессово-раскройного завода» [электронный ресурс] // Юбилейная конф. студ. и молодых ученых, посвященная 85-летию ДГТУ: сб. докл. науч.-техн. конф. – Ростовна-Дону, 2015. – С. 585-600.
4. Unreal Engine VR для разработчиков / Митч Маккэффри; [пер. с англ. Н.И. Веселко, О.В. Максименковой, А.А. Незнанова]. – М.: Эксмо, 2019. – 256 с.

Сведения об авторах:

Воробьев Дмитрий Игоревич – студент;

Кузин Александр Олегович – заведующий лабораторией Обработки металлов давлением.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ РОССИИ

Угенинов В.Г., Кочетов А.С., Варданын Г.Б.

*Московский государственный технический университет гражданской авиации,
Москва*

Ключевые слова: электронное обучение, компетенции, тестирование, индивидуальная траектория.

Аннотация. В докладе представлена система электронного обучения летного и инженерно-технического состава эксплуатантов новой авиационной техники. На основе системного подхода определена структура системы обучения и определено основное содержание подсистем. Представлена разработанная интеллектуальная система обучения. Проведен подробный анализ интеллектуальной системы обучения.

THE USE E-LEARNING TO IMPROVE THE SKILLS OF CIVIC AVIATION ENGINEERS IN RUSSIA

Ugreninov V.G., Kochetov A.S., Vardanyan G.B.

Moscow state technical university of civil aviation, Moscow

Keywords: e-learning, competencies, testing, individual trajectory.

Abstract. The article presents a e-learning system for flight and engineering personnel of operators of new aircraft. Of the bases of systematic approach the structure of training system is determined and the main content of subsystems are determined as the main elements of the developed system. The article presents the developed intelligent automated learning system. A detailed analysis of the components of the intelligent automated learning system has been carried out.

В существующей на сегодняшний день системе повышения квалификации и переподготовки инженерных кадров гражданской авиации России не в полной мере учитываются индивидуальные особенности обучаемых, недостаточно эффективно применяются современные методы обучения специалистов, электронные учебники и учебные пособия и др. Оставляет желать лучшего и степень внедрения компетентностного подхода при планировании обучения.

В связи с вышесказанным, а также ожидаемым обновлением парка самолетами отечественного производства, все более востребованными становятся инновационные подходы в области подготовки инженерно-технического персонала эксплуатантов новой авиационной техники (АТ).

В настоящем докладе предлагается использовать один из таких подходов в виде электронного обучения на базе интеллектуальной автоматизированной системы обучения (ИСО) (рис. 1).

Электронное обучение обеспечивает возможность проведения подготовки персонала как очно, так и дистанционно, на автоматизированных рабочих местах с помощью разработанного программного обеспечения, позволяющего

реализовывать алгоритмы индивидуального проблемно-ориентированного подхода с использованием метода «электронных кейсов» [1].

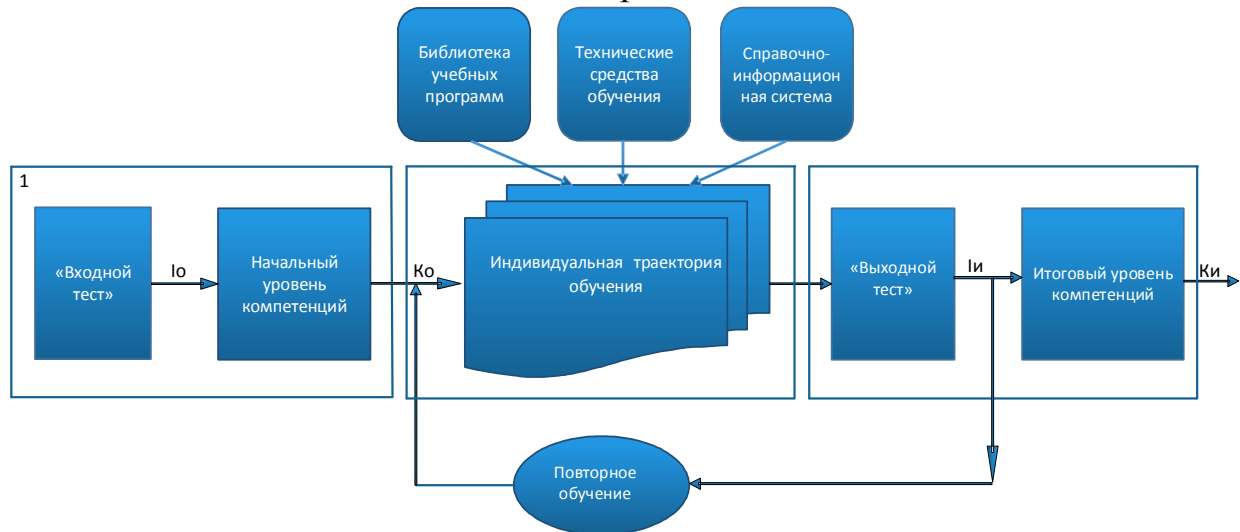


Рис. 1 Электронная система обучения летно-технического персонала

Предлагаемая электронная система состоит из трех подсистем:

- определения начального уровня компетенций обучаемого;
- индивидуальной траектории обучения (ИТО);
- определения выходного уровня компетенций обучаемых.

Индивидуальная траектория обучения понимается, как набор типовых учебных программ, выбираемых для каждого обучаемого в зависимости от начального и требуемого итогового уровня его компетенций.

ИТО разрабатываются по результатам входного и выходного тестирования обучаемого на основе формирования конечных наборов признаков (I_o , K_o и I_i , K_i), необходимых для информационного поиска и классификации типовых учебных программ. Обратная связь предусматривает возможность дополнительного обучения. Информация о достигнутом итоговом уровне компетенций обучаемого может использоваться в дальнейшем при принятии кадровых решений [2].

Основным агрегатом ИТО является электронная библиотека типовых учебных программ – самообучающаяся система, способная к пополнению и обмену модулями в зависимости от текущих результатов обучения.

Предполагается, что приоритетным методом обучения будет метод кейсов («case-study») [2] – технология обучения, использующая описание реальных случаев, при котором обучающиеся исследуют ситуацию, разбираются в сути проблемы, предлагают возможные решения и выбирают лучшее из них. В основе метода, применительно к данной системе, лежит предположение, что для решения кейса обучаемый будет «вынужден» тщательно изучить предмет (в данном случае - конструкцию и эксплуатацию АТ).

Реализация алгоритмов индивидуального проблемно-ориентированного подхода намечена на следующих уровнях [3].

1. Групповое обучение.
2. Индивидуальное обучение, реализующее индивидуальные траектории подготовки обучаемых.

3. Процедурный тренажер, предназначенный для приобретения обучаемыми первоначальных практических навыков обращения с органами управления и информационно-управляющим полем кабины самолета при выполнении работ, регламентированных эксплуатационно-технической документацией.

4. Полномасштабный тренажер самолета, позволяющий максимально приблизить учебный процесс к реальной эксплуатации, формировать практические навыки в работе на АТ, фиксировать полученные во время обучения знания.

5. Учебно-тренировочные режимы на реальном самолете.

Исходные данные для электронной системы обучения [4] предполагается формировать в следующем составе:

- электронная версия эксплуатационно-технической документации (ЭТД), поставляемая в объеме документации главного конструктора (рис. 2);
- анимированные карты технического обслуживания (рис. 3);
- эксплуатационный каталог деталей и сборочных единиц;
- ПО «Виртуальный тренажёр»;
- ПО «Трёхмерная модель самолёта»;
- обучающие видео и др.

Предлагаемая электронная система – попытка инновационного подхода к подготовке летно-технического персонала, призванная повысить его качество и, возможно, в большей степени развернуть в сторону выполнения растущих требований заказчиков обучения. В настоящее время данная система внедрена и проходит апробацию на одном из предприятий Объединенной авиастроительной корпорации.

Список литературы

1. Осипова И.В., Богряшова Н.Н., Голышев Н.И. Инновационные методы обучения при подготовке бакалавров с использованием «электронных кейсов» // Высшее образование сегодня. – 2016. – №8. – С. 17-20.
2. Мединцева И.П. Компетентностный подход в образовании // Материалы II Международной конференции. – М.: Буки-Веди, 2012. – С. 215-218.
3. Пономаренко А.В., Угренинов В.Г., Костяков И.Н., Бондаренко Д.В., Королькова Л.Н. Интеллектуальная автоматизированная система обучения // Материалы национальной с международным участием научно-технической конференции. – Ставрополь: Изд-во «Ставролит», 2022. – С. 269-276.
4. Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. Статистическая теория распознавания образов. – М.: Радио и связь, 1986. – 624 с.

Сведения об авторах:

Угренинов Владимир Германович – к.т.н., доцент;

Кочетов Александр Сергеевич – к.т.н., доцент;

Варданян Георгий Бенурович – к.т.н., доцент.

Научное периодическое издание

Машиностроение: инновационные аспекты развития:

**Материалы международной
научно-практической конференции**

№6

Верстка и корректура: ИП Жукова Е.В.

Формат издания 60x84 1/16. Усл. печ. л. 5,46.

Подписано в печать 18.04.23г. Заказ №23-08.

<https://doi.org/10.26160/2618-6810-2023-6>

Учредитель, издатель и распространитель: Жукова Елена Валерьевна
(ИП Жукова Е.В., ИНН 422802805198, ОГРНИП 318420500009778,
г. Санкт-Петербург).

Ответственный редактор: Жуков Иван Алексеевич.

Редакция: Научно-исследовательский центр «МашиноСтроение»,
197372, г. Санкт-Петербург, пр. Комендантский, д. 28, корп. 2, оф. 117.
<http://srcms.ru>

E-mail: spbf@srcms.ru