

Автор едр.

Л 33

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ им. М. В. ЛОМОНОСОВА

ДЕНИСОВ Дмитрий Алексеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ
ЯЧЕИСТЫХ МЕХАНИЗМОВ
СВОБОДНОГО ХОДА

05.02.02 Машиноведение и детали машин

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук.

ОДЕССА — 1973.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ им. М. В. ЛОМОНОСОВА

ДЕНИСОВ Дмитрий Алексеевич

Переу. ег 19.87

ИССЛЕДОВАНИЕ
ЯЧЕЙСТЫХ МЕХАНИЗМОВ
СВОБОДНОГО ХОДА

05.02.02 Машиноведение и детали машин

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук.

с.в. 12242 v 012242

Одесский технологический
институт пищевой промыш-
ленности им. М. В. Ломоносова
— БИБЛИОТЕКА

ОДЕССА — 1973.

ОНАХТ
Исследование ячеисты



v012242

показали, что необходимой надежностью и долговечностью обладают ячеистые МСХ, которые способны передавать большие усилия независимо от характера нагружения, устойчиво работают в условиях тряски и колебаний машин, не требуют высокой точности изготовления и монтажа. ВИСХОМом на ячеистые МСХ разработана нормаль для сельскохозяйственного машиностроения.

Несмотря на широкое применение ячеистых МСХ в сельскохозяйственных машинах, они изучены недостаточно как теоретически, так и экспериментально. Вместе с тем выпуск сельскохозяйственных машин, в приводе которых устанавливаются эти механизмы, с каждым годом увеличивается.

Все изложенное послужило основанием для выполнения настоящей работы, целью которой является теоретическое и экспериментальное исследование ячеистых МСХ в системе привода рабочих органов сельскохозяйственных машин роторного типа, разработка рекомендации по совершенствованию конструкций этих механизмов и методов расчета и проектирования.

Выполнение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

1. Анализ конструкции ячеистых МСХ, применяемых в технике, их режимов работы в приводах сельскохозяйственных машин.

2. Теоретическое исследование динамики привода ротора кукурузоуборочного комбайна с механизмом свободного хода.

3. Экспериментальная проверка теоретических результатов и опытное определение характеристик механизма, необходимых для их расчета и проектирования.

4. На основании теоретических и экспериментальных исследований разработка рекомендации по расчету, проектированию и совершенствованию ячеистых МСХ.

В первой главе систематизированы ячеистые МСХ и дан обзор их конструкций и конструктивных модификаций от простых с одним заклинивающим элементом с различным расположением ячеек, до более сложных с несколькими заклинивающими элементами с применением прижимных устройств и без прижимных устройств с различным очертанием рабочих поверхностей ячеистой обоймы и звездочки.

Рассмотрены конструкции, принцип работы и отличительные особенности ячеистых МСХ одностороннего действия с

горизонтальным расположением, применяемые в приводах с различным служебным назначением.

Описана оригинальная конструкция ячеистого МСХ для соединения вертикальных валов с шариковыми заклинивающими элементами и наклонными направляющими на наружной обойме.

В качестве примера ячеистого МСХ двустороннего действия приведен механизм, устанавливаемый в приводе подачи металлообрабатывающих станков. Привод с таким МСХ позволяет осуществлять рабочую подачу, ускоренный ход и обратное движение.

Так как объектом исследования выбран ячеистый МСХ конструкции нормали сельскохозяйственного машиностроения, то более подробно рассмотрены характерные узлы сельскохозяйственных машин с ячеистыми МСХ: в коробке скоростей вентиляторного садового опрыскивателя, в редукторе универсального широкозахватного опылителя ОШУ-50, в приводе очесывающего барабана на льнокомбайнах ЛК-5, ЛК-4М, ЛКВ-4Т, в приводе биттера и ротора швырялки ботвоуборочных машин УБД.

Наиболее типичным примером применения ячеистого МСХ в сельскохозяйственных машинах с рабочими органами роторного типа является установка его в приводе ротора измельчителя кукурузоуборочного комбайна, который выбран для дальнейшего исследования.

Работа ячеистого МСХ в системе ротора измельчителя характеризуется следующими периодами: период включения при пуске комбайна, рабочий период, период холостого хода и остановки.

Период включения осуществляется когда обойма, ролик и звездочка находятся в контакте и, когда обойма, звездочка и ролик не находятся в контакте, и обойма от начала движения должна повернуться на угол холостого поворота, при этом происходит ударное включение ячеистого МСХ.

Рабочий период осуществляется в течение всего рабочего времени, когда происходит измельчение листостебельной массы на силос. При постоянной скорости измельчителя механизм включен. Чаще в процессе работы скорости и воспринимаемая им нагрузка изменяются, тогда происходит периодическое включение и выключение механизма с непродолжительным свободным ходом.

Период холостого хода начинается после рабочего периода, когда угловая скорость ведущей системы уменьшается,

а ведомая система — ротор измельчителя и связанная с ним звездочка, обладая большой кинетической энергией, продолжают вращаться.

Здесь следует заметить, что ради необходимости отключения ротора измельчителя от системы привода в данном режиме работы и устанавливается ячеистый МСХ, задачей которого является предохранение деталей от больших динамических нагрузок, при резком уменьшении угловой скорости ведущей системы или сил сопротивления.

Анализ рассмотренных периодов работы ячеистого МСХ в системе привода ротора измельчителя комбайна показал, что при пуске ячеистый МСХ воспринимает наибольшие усилия. Поэтому исследование периода включения ячеистого МСХ явилось одной из основных задач диссертационной работы.

Во второй главе рассматривается состояние теоретических и экспериментальных исследований механизмов свободного хода и сделаны некоторые критические замечания о нормали ОН-13-234-61 «Обгонные муфты для сельскохозяйственных машин».

Механизмы свободного хода нашли широкое применение в различных отраслях машиностроения, поэтому не случайно, что им посвящено большое число работ как у нас в стране, так и за рубежом. В период с 1954 по 1968 год вышло в свет по МСХ четыре монографии Н. К. Куликова, В. Ф. Мальцева, М. Н. Пилипенко, Штольце и Гарта (ФРГ).

Наибольший вклад в теорию, методы расчета и проектирования МСХ, разработку путей их совершенствования и создание новых систем и конструкций, а также в экспериментальное исследование механизмов внесли советские ученые В. Ф. Мальцев, Н. К. Куликов, С. А. Лаврентьев, М. Н. Пилипенко и другие.

В работах зарубежных исследователей Коллман К., Штольце К., Гарт С., Грабнер Р., Карде К., Каспер Б., Шмидт Ф., Брандел I. и других изложены приближенные методы расчета, приводятся рекомендации по выбору главных параметров МСХ на основе опыта эксплуатации и экспериментального исследования фирм. В большом количестве работ дается обширная информация о различных конструкциях, изготавливаемых фирмами, специализирующимися на их выпуске.

Анализ выполненных работ по МСХ показывает, что большая часть из них относится к роликовым. Полностью перенести теорию и результаты экспериментального исследования роликовых и других типов МСХ на ячеистые МСХ не представляется возможным в силу специфики работы ячеистых МСХ (ударное заклинивание и соударение ролика со звездочкой и обоймой во время свободного хода).

Существенным вкладом в экспериментальное исследование ячеистых МСХ в системе машинного агрегата сельскохозяйственных машин следует считать работы, проведенные ВИСХОМом в 1959—1961 гг. Эти работы выполнялись как на лабораторной установке, так и в полевых условиях.

В результате обобщения опыта эксплуатации и проведенных лабораторно-полевых испытаний ВИСХОМом рекомендовано на всех сельскохозяйственных машинах, взамен ранее устанавливаемых различных типов МСХ, сухариковые и ячеистые МСХ, на которые разработана ранее указанная нормаль.

Однако, как показала практика проектирования новых машин, нормаль не может удовлетворить современное машиностроение.

Нормаль разработана на весьма ограниченное количество типоразмеров МСХ, ее необходимо существенно расширить, исходя из современного уровня сельскохозяйственного машиностроения с учетом тенденции перспективы развития этой отрасли машиностроения в будущем. При расширении нормы особое внимание следует обратить на разработку ячеистых МСХ.

Нормалью не предусмотрены МСХ для высокопроизводительных машинных агрегатов с повышенными силовыми и скоростными режимами.

В нормале не предусмотрены рекомендации подшипников для МСХ, в то время, как показала практика, выход из строя подшипников влечет за собой выход всего узла МСХ. Поэтому нормализованные ячеистые МСХ конструктивно должны оформляться вместе с подшипниками, а на варианты без опор может быть предусмотрена рекомендация по выбору подшипников.

Работы, проведенные по исследованию ячеистых МСХ, не коснулись изучения вопросов динамики. В литературе не освещен вопрос динамики периода включения ячеистого МСХ, однако в этот период нагрузки достигают максимального значения и превосходят нагрузки при установившемся ре-

жиме в 5—6 раз. До сих пор остались нерешенными вопросы расчета и проектирования ячеистых МСХ.

В третьей главе дано обоснование расчетной схемы и определение специфических параметров и характеристик для исследования периода включения ячеистого МСХ, установленного в приводе ротора измельчителя кукурузоуборочного комбайна.

Кукурузоуборочный комбайн представляет собой упругую многомассовую разветвленную систему с большим числом степеней свободы; исследование частот и форм колебаний, а также динамических нагрузок затруднительно.

Для исследования динамики движения основных звеньев ячеистого МСХ выделен привод ротора измельчителя, в котором установлен МСХ. Этот привод рассмотрен, как двухмассовая система, где за звенья приведения приняты обойма и вал ротора измельчителя с приведенными моментами инерции I_1 и I_2 .

Моменты инерции звеньев простой формы определялись расчетным путем, а для звеньев сложной конструкции опытно.

Специфическую задачу при определении податливости исследуемой системы представляет вопрос определения характеристики жесткости ячеистого МСХ. Данная задача осложняется тем, что на жесткость механизма влияют не только объемные и контактные деформации обоймы, звездочки и ролика, но и деформации валопровода и опор от действия радиального усилия.

На рис. 1 показано относительное перемещение обоймы и звездочки.

Угол относительного поворота обоймы и звездочки $\varphi_{я}$ в процессе заклинивания равен сумме углов относительного поворота элементов ячеистого МСХ.

$$\varphi_{я} = \alpha_1 + \alpha_c; \quad (1)$$

$$\alpha_c = \alpha_2 + \alpha_{под.} + \alpha_{в}; \quad (2)$$

где α_1 — угол относительного поворота обоймы и звездочки, вызванный деформацией в месте контакта ролика и обоймы;

α_2 — угол относительного поворота обоймы и звездочки от деформации в месте контакта ролика и звездочки;

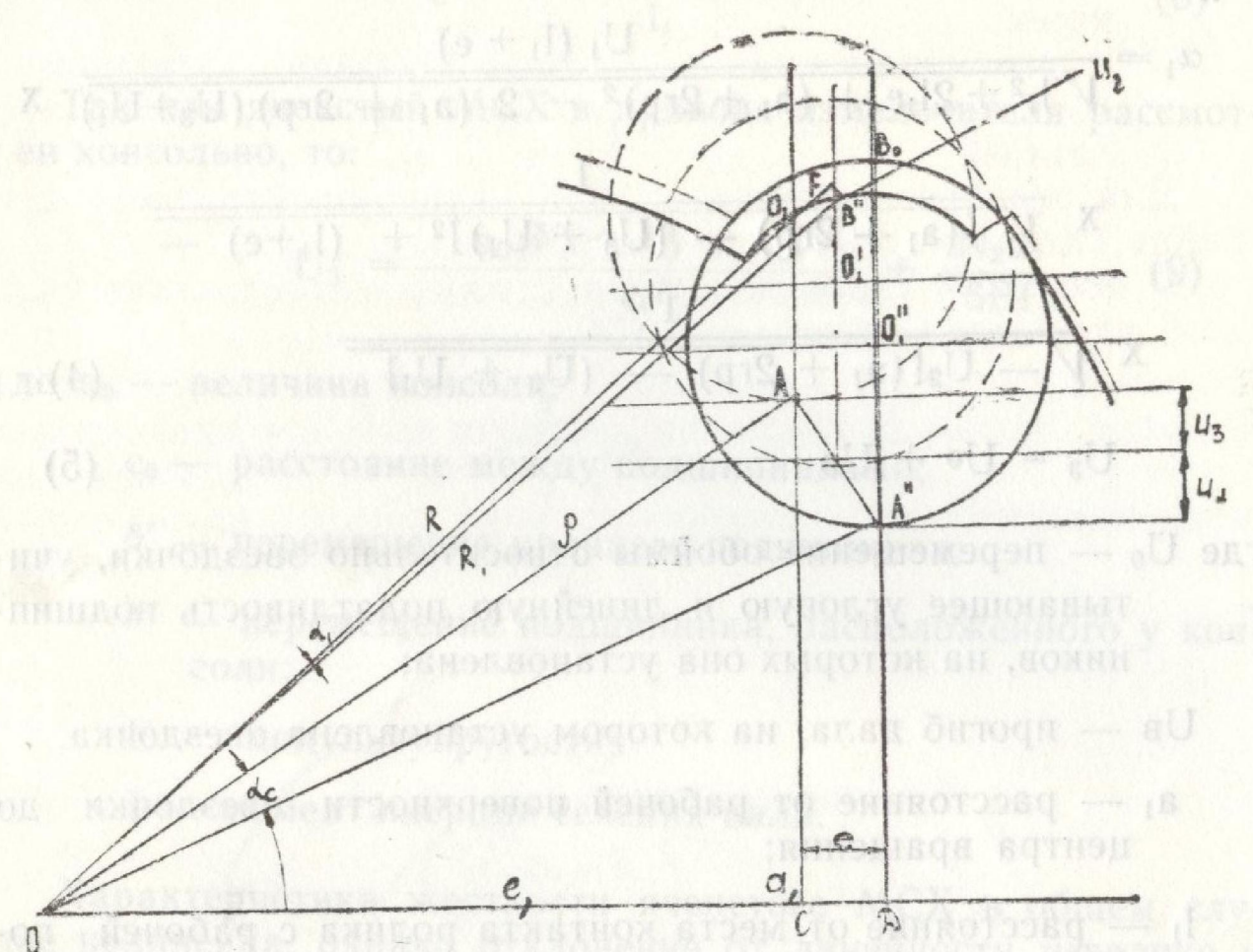


Рис. 1

- α_{под.} — угол относительного поворота обоймы и звездочки от линейной и угловой деформаций подшипников, на которых установлена обойма;
- α_в — угол относительного поворота обоймы и звездочки, вызванный изгибной деформацией вала, на котором установлена звездочка.

В процессе включения механизма, под действием усилия в месте контакта ролика и звездочки N₂ произойдет их сближение на величину U₁, а также перемещение звездочки U₃ относительно обоймы вследствие линейной и угловой податливости подшипников и прогиба вала. Под действием усилия N₁ в месте соприкосновения обоймы и ролика будет иметь место сближение этих деталей на величину U₂.

Из рис. 1 определяем:

$$\alpha_c = \frac{U_3 + U_1}{l_1} \quad (3)$$

и

$$\alpha_1 = \frac{U_1 (l_1 + e)}{\sqrt{l_1^2 + 2l_1e + (a_1 + 2rp)^2 - 2(a_1 + 2rp)(U_3 + U_1)}} \times \frac{1}{\sqrt{[(a_1 + 2rp) - (U_3 + U_1)]^2 + (l_1 + e) - 1}} \times \frac{1}{\sqrt{-U_2[(a_1 + 2rp) - (U_3 + U_1)]}} \quad (4)$$

$$U_3 = U_0 + U_B \quad (5)$$

где U_0 — перемещение обоймы относительно звездочки, учитывающее угловую и линейную податливость подшипников, на которых она установлена;

U_B — прогиб вала, на котором установлена звездочка.

a_1 — расстояние от рабочей поверхности звездочки до центра вращения;

l_1 — расстояние от места контакта ролика с рабочей поверхностью звездочки до центра вращения звездочки;

rp — радиус ролика;

Величины сближения U_1 и U_2 определялись по формулам Герца:

$$U_1 = 615 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{N_2}{lp} \cdot \lg \frac{71 \cdot 10^6 \cdot lp \cdot rp}{N_2}$$

$$U_2 = 615 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{N_1}{lp} \cdot \lg \frac{71 \cdot 10^6 \cdot lp \cdot rp}{\left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{rp}\right) N_1} \quad (7)$$

r_0 — радиус обоймы;

lp — длина ролика;

e — расстояние между точками контакта ролика и звездочки до деформации и после деформации, оно определяется:

$$e = \frac{a_1(U_3 + U_1)}{I_1} \quad (8)$$

Так как ячеистый МСХ в приводе измельчителя рассмотрен консольно, то:

$$U_3 = \frac{a_0(\delta'' + \delta') + c_0\delta'}{c_0\delta'} + \frac{N_2 a_0}{6EI} \quad (9)$$

где a_0 — величина консоли;

c_0 — расстояние между подшипниками;

δ' — перемещение крайнего подшипника;

δ'' — перемещение подшипника, расположенного у консоли;

E — модуль упругости;

I — момент инерции сечения вала.

Характеристика жесткости ячеистого МСХ в общем случае нелинейна, однако отклонение от линейности невелико и для инженерных расчетов ее можно принять линейной, тогда жесткость можно определить:

$$C = \frac{M_{кр}}{a_1 + a_c} \quad (10)$$

Для включения ячеистого МСХ в работу, в общем случае, обойма относительно звездочки должна повернуться на величину угла холостого поворота. Величина этого угла обуславливает относительную угловую скорость перед включением механизма и, следовательно, величину импульса соударения звездочки и обоймы через ролик.

Максимальная возможность угла холостого поворота обоймы равна:

$$\varphi_{\max} = \arctg \frac{a_1 + r_p}{\sqrt{R^2 - (a_1 + r_p)^2}} - \frac{2\pi}{n} (n - 1) - \gamma' - \frac{\pi}{4} \quad (11)$$

где n — количество ячеек;

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}_2} \right) - \frac{\partial L}{\partial \varphi_2} = \dot{\quad} \quad (12)$$

$$\frac{\partial L}{\partial t} - \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\alpha}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \alpha} = 0$$

где $L = T - \Pi$ — функция Лагранжа,
 T — кинетическая энергия системы;
 Π — потенциальная энергия системы.

За обобщенные координаты принимаем угол закручивания валопровода α и угол поворота приведенной массы ведомой системы φ_2 .

В результате решения двух уравнений Лагранжа получаем уравнение движения системы:

$$\ddot{\alpha} \frac{\Psi}{B_2} - \dot{\alpha} \frac{2A_5}{B_2} \cdot \frac{\Psi}{\alpha} + \alpha (A_{17} - 2A_{10} \ln \alpha) = 0 \quad (13)$$

где A_5 ; A_{10} ; A_{17} и B_2 — постоянные величины;

$$\Psi = \Psi(\alpha)$$

Данное дифференциальное уравнение не интегрируется в квадратурах.

Для инженерных расчетов рекомендуется решение численным методом с помощью ЭВМ или одним из нижеприведенных методов решения.

В первом приближенном решении не учитывается податливость ячеистого МСХ и поперечная деформация валопровода.

Уравнения Лагранжа запишутся:

$$\ddot{\varphi} = - \frac{I_1}{I_1 + I_2} \ddot{\alpha} \quad (14)$$

$$I_1(\ddot{\varphi} + \ddot{\alpha}) + \frac{\partial \Pi}{\partial \alpha} = 0 \quad (15)$$

В результате решения двух уравнений Лагранжа получаем

$$\ddot{\alpha} + B_2 \frac{d\Pi}{d\alpha} = 0 \quad (16)$$

Используя начальные и конечные условия первой фазы удара, определяем основные параметры удара в конце первой

фазы, которые необходимы для расчета элементов ячеистой МСХ.

Максимальный крутящий момент:

$$M_{кр\max} = \alpha_k A_1 \quad (17)$$

где $\alpha_k = \frac{\omega_{1H}}{\sqrt{A_1 B_2}}$ — угол закручивания валопровода в конце первой фазы удара;

ω_{1H} — скорость обоймы в начале удара, определяется экспериментально;

$$A_1 = \frac{G I_p}{l_{пр}} \quad \text{и} \quad B_2 = \frac{I_1 + I_2}{I_1 \cdot I_2}$$

где G — модуль упругости 2-го рода;

I_p — полярный момент инерции сечения валопровода;

$l_{пр}$ — приведенная длина валопровода.

Максимальное усилие:

$$N_{\max} = A_2 \cdot \alpha_k \quad (19)$$

где A_2 — постоянная величина.

Время удара:

$$t = \frac{1}{\sqrt{A_1 B_2}} \arcsin \sqrt{A_1 B_2} \frac{\omega_{1H}}{\alpha} \quad (20)$$

Время первой фазы удара:

$$t_k = \frac{\pi}{2\sqrt{A_1 B_2}} \quad (21)$$

Изменение угловой скорости ведомой системы:

$$\omega_2 = \frac{I_1}{I_1 + I_2} (I_1 \omega_{1H} \pm I_2 \sqrt{\omega_{1H}^2 - A_1 B_2 \alpha^2}) \quad (22)$$

Изменение угловой скорости ведущей системы

$$\omega_1 = \frac{1}{I_1 + I_2} (I_1 \omega_{1H} \pm I_2 \sqrt{\omega_{1H}^2 - A_1 B_2 a^2}) \quad (23)$$

В этих и в других выражениях этой главы верхние знаки соответствуют первой фазе удара, а нижние — второй.

Формулы (22) и (23) можно представить через отношение текущего угла закручивания валопровода к углу закручивания в конце первой фазы удара, тогда:

$$\omega_2 = \frac{I_1 \omega_{1H}}{I_1 + I_2} [1 \pm \sqrt{1 - (\alpha/\alpha_K)^2}], \quad (24)$$

$$\omega_1 = \frac{\omega_{1H}}{I_1 + I_2} [I_1 \pm I_2 \sqrt{1 - (\alpha/\alpha_K)^2}]. \quad (25)$$

В соответствии с полученными формулами (22), (23) при $I_2 = 27 \text{ м}^2 \text{ кг}$ на ЭВМ «Промінь-2» найдены изменения угловых скоростей ω_1 и ω_2 , которые представлены в виде графиков (рис. 3). Кривые 1, 2, 3 и 4 показывают изменение угловой скорости ведущей системы в первой фазе удара, кривые 9, 10, 11, 12 — во второй фазе удара, соответственно при значениях моментов инерции ведущей системы $I_1 = 7,6 \text{ м}^2 \text{ кг}$, $15 \text{ м}^2 \text{ кг}$, $27 \text{ м}^2 \text{ кг}$, и $40 \text{ м}^2 \text{ кг}$. Кривые 5, 6, 7 и 8 показывают изменение угловой скорости ведомой системы в первой фазе удара, кривые 13, 14, 15 и 16 — во второй фазе удара, при тех же значениях I_1 .

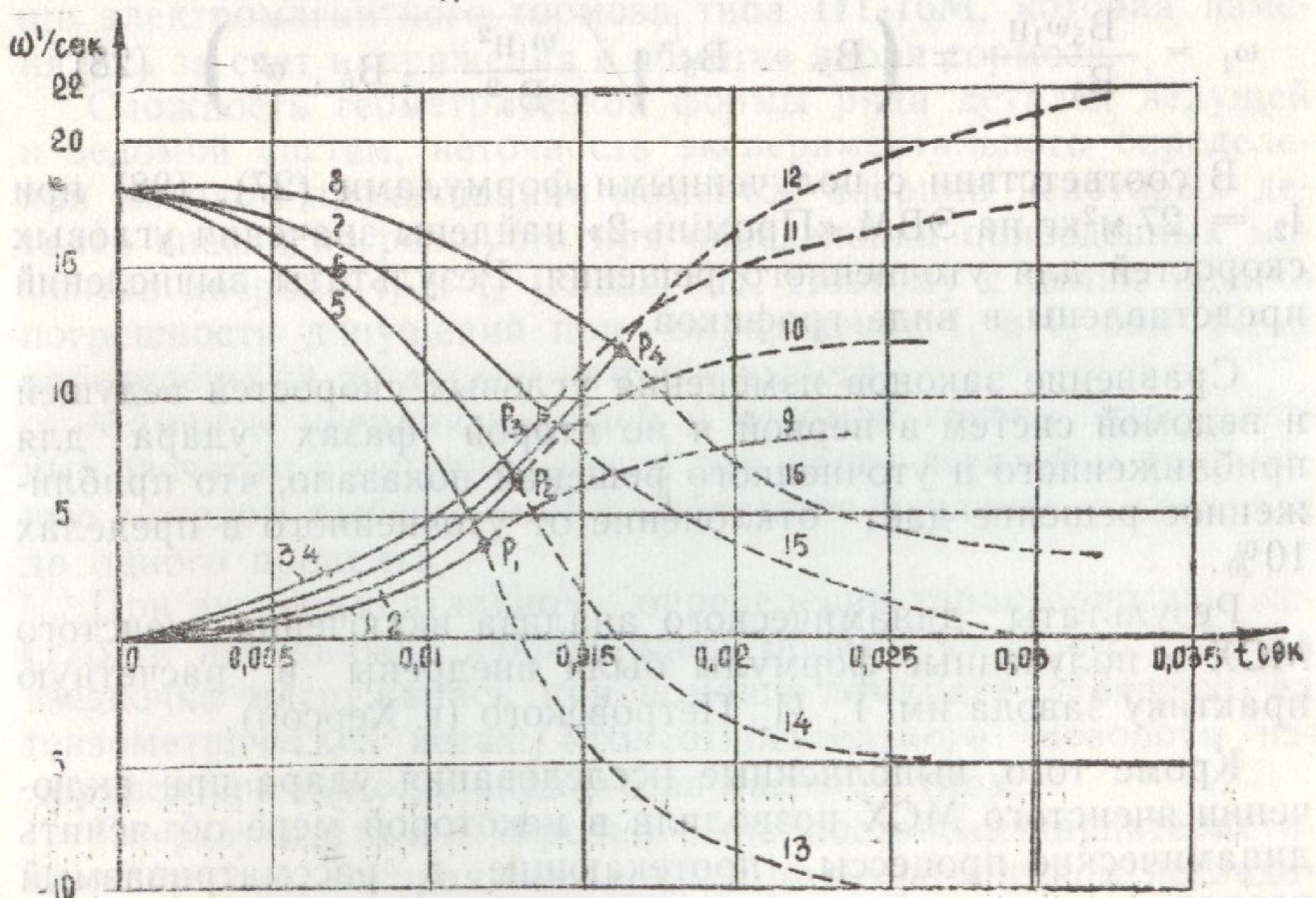


Рис. 3

При уточненном методе решения уравнения (13) учитываются деформации в месте контакта ролика с обоймой и звездочкой, а также поперечная деформация валопровода.

Так, сближение ролика с обоймой и ролика со звездочкой может быть найдено из выражения:

$$U = A\alpha \ln B - A\alpha \ln \alpha, \quad (26)$$

тогда уточненное решение становится нелинейным.

С целью упрощения инженерных расчетов обоснована возможность линеализации второго члена правой части уравнения (26). В работе показано, что такая аппроксимация дает расхождение от криволинейной зависимости менее чем на 1%.

Уточненное решение выполнено в аналогичном плане, как и приближенное, и получены схожие по структуре зависимости.

Изменение угловой скорости ведомой и ведущей систем в двух фазах удара:

$$\omega_2 = B_5 \left(\frac{\omega_{1H}}{B_3} \mp \sqrt{\frac{\omega_{1H}^2}{B_3^2} - B_6 \cdot \alpha^2} \right) \quad (27)$$

$$\omega_1 = \frac{B_5 \omega_{1H}}{B_3} \mp \left(B_5 - B_3 \sqrt{\frac{\omega_{1H}^2}{B_3^2} - B_6 \cdot \alpha^2} \right) \quad (28)$$

В соответствии с полученными формулами (27), (28) при $I_2 = 27 \text{ м}^2\text{кг}$ на ЭВМ «Промінь-2» найдены значения угловых скоростей для уточненного решения. Результаты вычислений представлены в виде графиков.

Сравнение законов изменения угловых скоростей ведущей и ведомой систем в первой и во второй фазах удара для приближенного и уточненного решений показало, что приближенное решение дает отклонение от уточненного в пределах 10%.

Результаты динамического анализа включения ячеистого МСХ и полученные формулы были внедрены в расчетную практику завода им. Г. И. Петровского (г. Херсон).

Кроме того, выполненные исследования удара при включении ячеистого МСХ позволили в некоторой мере объяснить динамические процессы, протекающие в рассматриваемый период.

Пятая глава посвящена экспериментальному исследованию ячеистых МСХ.

Цель экспериментальных исследований состояла в проверке обоснованности сделанных допущений при теоретическом исследовании и определении основных характеристик и параметров динамики движения главных звеньев ячеистых МСХ.

Для выполнения поставленной цели была создана экспериментальная установка, где использован серийный ротор измельчителя кукурузоуборочного комбайна «Херсонец-7», в приводе которого установлен ячеистый МСХ. Это дало возможность сохранить действительные моменты инерции и жесткость деталей и узлов. Условия работы экспериментальной установки приближены к действительным условиям работы ячеистого МСХ в системе машинного агрегата.

Привод установки осуществляется от электродвигателя типа А-71-Б мощностью 14 квт, через клиноременную передачу, в ведомом шкиве которой неподвижно закреплена обойма ячеистого МСХ. Звездочка механизма через моментомер специальной конструкции соединена с валом ротора измельчителя.

Нагрузка на роторе измельчителя создавалась при помощи электромагнитного тормоза типа ПТ-16М, которая изменялась за счет напряжения в обмотке якоря тормоза.

Сложность геометрической формы ряда деталей ведущей и ведомой систем, неточность экспериментального определения методом прокачивания моментов инерции некоторых деталей внесли погрешности при определении приведенных моментов инерции I_1 и I_2 (глава III). Поэтому с целью оценки погрешности допущений при определении I_1 и I_2 они были определены на установке методом выбега.

Моменты инерции ведущей и ведомой систем, определенные расчетом и опытным путем для части деталей и полученные методом выбега, имеют небольшое различие в пределах до одного процента.

При экспериментальном определении характеристики жесткости неподвижно закреплялась обойма ячеистого МСХ, а звездочка нагружалась при помощи домкрата, стоящего на тензометрических весах. Угол относительного поворота измерялся при помощи индикатора часового типа.

По результатам измерения была построена характеристика жесткости, которая также, как при теоретическом исследовании, нелинейна. При сравнении характеристик жесткости,

с. 160 12242

полученных теоретически и экспериментально, видно, что характер их идентичен, а отклонение от прямолинейности в максимальной ординате находится в пределах 8%. Для инженерных расчетов с достаточной точностью характеристику жесткости ячеистого МСХ можно принять линейной. Для выяснения изменения характера нагрузки, действующей на детали ячеистого МСХ, было снято ряд осциллограмм крутящего момента за полный цикл работы ротора измельчителя на трех комплектах пятиячеистого МСХ.

Исследования велись при помощи специально сконструированного моментомера, состоящего из внутреннего стакана, соединенного с валом ротора при помощи шпонок, и наружного стакана, изготовленного заодно со звездочкой. Усилие от шкива ротора передается на обойму, затем на ролик, звездочку и на вал ротора.

Для измерения крутящего момента разработан специальный генераторный датчик.

При передаче крутящего момента наружный и внутренний стаканы скручиваются, тем самым изменяя зазор между ферритовыми сердечниками генераторного датчика, в результате этого смещения генерируется э. д. с.

Сигнал снимается с катушки, затем подается на выпрямитель и далее на компенсатор, служащий для установки нуля. Разность э. д. с. датчика и компенсатора подается на гальванометр осциллографа через токосъемник.

Для сравнения величины крутящих моментов при включении были изготовлены четыре вида МСХ: пятиячеистый, десятиячеистый, сухариковый и роликовый.

В результате проведенного эксперимента установлено, что наибольший крутящий момент возникает при включении пятиячеистого МСХ. При максимальном угле холостого поворота и при нагрузке на роторе измельчителя 8 кгм, он достигает 170—175 кгм. У десятиячеистого МСХ при тех же условиях он достигает 85—90 кгм, у сухарикового при тех же условиях достигает 65—70 кгм. Включение роликового МСХ при нагрузке 8 кгм, крутящий момент достигает 35—38 кгм.

Необходимо отметить, что с повышением нагрузки на роторе измельчителя ударный момент повышается.

Для экспериментального определения законов изменения угловых скоростей ведущей и ведомой систем во время включения ячеистого МСХ на станине установки были смонтированы два тахогенератора постоянного тока типа ТГП-1А.

Один тахогенератор служил для записи угловой скорости обоймы, другой — для записи угловой скорости звездочки.

Движение тахогенератора передается посредством клинового ремня со шкивов обоймы и звездочки на шкивы тахогенераторов. Сигнал тахогенераторов подавался через сопротивление на компенсатор, затем на гальванометр осциллографа Н-700. Перед снятием осциллограмм была произведена тарировка тахогенераторов с помощью прецизионного тахометра.

Результаты сравнения законов движения изменения угловых скоростей обоймы и звездочки, найденных экспериментально и теоретически, показывают, что имеет место качественное совпадение в первой фазе удара и относительно небольшое (порядка 10%) количественное расхождение.

Для определения угла холостого поворота обоймы были установлены два датчика с фотоэлементами, состоящие из текстолитовых дисков с 120 прорезями, фототриодов и лампочек. Один текстолитовый диск неподвижно крепится к обойме, другой — к звездочке. Сигнал фотоэлементов фиксировался на фотопленку шлейфного осциллографа. По величине отставания сигналов датчика обоймы от сигналов датчика звездочки определялся угол холостого поворота с точностью до 20'.

Автором совместно с работниками завода были разработаны три новых конструкции ячеистых МСХ, основные элементы которых рассчитаны по методике, изложенной в настоящей диссертационной работе. При конструировании механизмов учтены рекомендации, полученные из теоретического и экспериментального исследований.

Опытные образцы указанных механизмов были изготовлены и испытаны в заводской лаборатории комбайнового завода им. Г. И. Петровского.

Из четырех, подвергшихся испытаниям конструкций ячеистых МСХ, одна конструкция была серийного выпуска. Наибольшую работоспособность показала конструкция с минимальной величиной консоли и с подшипниками повышенной нагрузочной способности, она осталась работоспособной после 10000 включений вала отбора мощности трактора.

С целью повышения надежности и долговечности кукурузоуборочных комбайнов «Херсон-7» с 1 января 1971 года внедрен в серийное производство на комбайновом заводе им. Г. И. Петровского ячеистый МСХ повышенной надежности.

Экономический эффект от внедрения в народное хозяйство страны ячеистых МСХ повышенной надежности составляет 154000 рублей в год.

Расчет экономической эффективности произведен по действующей методике, разработанной ВИСХОМом «Методика определения экономической эффективности новых сельскохозяйственных машин».

Выпуск О. Н. Т. И. ВИСХОМ, Москва, 1969 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ, ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. На основании сделанного обзора конструкции и области использования ячеистых МСХ в современной технике у нас в стране и за рубежом установлено, что они нашли применение в различных приводах современных машин и механизмов, особенно в сельскохозяйственных машинах, так как наиболее полно удовлетворяют условиям изготовления и эксплуатации. Надежно работают в условиях тряски и колебаний, не требуют высокой точности изготовления и монтажа, обеспечивают работоспособность при значительных износах рабочих поверхностей. Конструкция механизма технологична, включает небольшое количество деталей и не требует больших эксплуатационных расходов.

2. Анализ периодов работы ячеистых МСХ показывает, что они отличаются от периодов работы других МСХ.

Результаты многочисленных теоретических и экспериментальных исследований МСХ и, прежде всего, роликовых, нельзя полностью перенести на ячеистые МСХ в силу специфических особенностей их функционирования (ударное включение и соударение роликов и обойм в период свободного хода).

3. Анализ выполненных теоретических и экспериментальных исследований по ячеистым МСХ дает основание констатировать, что недостаточно изучены периоды работы в системе машинного агрегата, не исследованы причины выхода из строя, мало внимания в литературе уделено вопросам совершенствования конструкции и рекомендации по расчету.

В работах не освещен вопрос динамики периода включения ячеистых МСХ, в то время, как в этот период нагрузки достигают максимального значения и значительно превосходят нагрузки при установившемся режиме.

4. Практика эксплуатации ячеистых МСХ показала, что механизмы, рассчитанные на контактную прочность, без уче-

та динамических нагрузок, не обладают необходимой прочностью и долговечностью.

5. Из анализа данных государственных машиноиспытательных станций страны следует, что простой сельскохозяйственных машин из-за выхода из строя узла МСХ составляют примерно 12—20%.

Учитывая масштабы и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения, а также тенденцию расширения области применения ячеистых МСХ и специфические условия их функционирования в этих машинах, назрела необходимость разработки надежных конструкций ячеистых МСХ, современных методов их расчета и проектирования.

6. Разработанная ВИСХОМом нормаль на ячеистые МСХ (ОН-13-234-61, «Муфты обгонные для сельскохозяйственных машин») представлена малым числом типоразмеров и не учитывает некоторые конструктивные особенности и эксплуатационные условия современных машин (высокопроизводительные машинные агрегаты с повышенными скоростями и силовыми режимами), что не может удовлетворить современную технику.

7. Вопрос определения характеристики жесткости ячеистого МСХ представляет более сложную задачу, чем определение этой характеристики для роликовых МСХ, так как на величину относительного перемещения обоймы и звездочки ячеистого МСХ влияют не только объемные и контактные деформации данных деталей и ролика, а также деформации вала и опор, вследствие действия радиальной нагрузки. Теоретические и экспериментальные исследования характеристики жесткости ячеистого МСХ показали, что она в общем случае нелинейна. Однако отклонение от линейной зависимости невелико и для инженерных расчетов характеристику жесткости ячеистого МСХ можно принять линейной.

8. Для определения максимальных усилий, действующих в период включения ячеистого МСХ, необходимо знать максимально возможный угол холостого поворота обоймы. Сопоставление возможных положений ролика относительно обоймы и звездочки позволило определить его максимальную величину. Величина этого угла пятиячеистого МСХ равна $57^{\circ}36'$; у десятиячеистого — $22^{\circ}27'$.

9. При теоретическом исследовании периода включения ячеистого МСХ был применен комбинированный метод (классической механики с элементами теории упругости), который позволил при решении ударных процессов определить основ-

ные параметры удара, в том числе нормальные усилия и крутящие моменты.

10. Исследование изменения угловых скоростей обоймы и звездочки при ударном включении ячеистого МСХ приближенным методом, когда учитывается только закручивание валопровода, и уточненным методом, когда дополнительно определялись деформации в местах контакта обоймы, ролика и звездочки, показали, что различия в соответствующих скоростях находятся в пределах не превышающих 10%. Для инженерных расчетов можно рекомендовать приближенный метод.

11. На основании формул, полученных при теоретическом исследовании системы привода ротора измельчителя кукурузоуборочного комбайна по определению угловых скоростей ведущей и ведомой систем в зависимости от времени и от отношения текущего угла закручивания валопровода к углу закручивания в конце первой фазы удара, изучены законы движения обоймы и звездочки в первой и во второй фазах удара в процессе включения ячеистого МСХ. В результате чего в работе сделана попытка объяснить механику движения элементов ячеистого МСХ.

12. Для комплексного исследования ячеистого МСХ была создана экспериментальная установка, в которой использован серийный ротор кукурузоуборочного комбайна «Херсон-7». Это дало возможность сохранить действительные моменты инерции, движущихся звеньев и жесткости деталей и узлов. Условия работы ячеистого МСХ экспериментальной установки приближены к действительным условиям работы этого МСХ в системе привода ротора кукурузоуборочного комбайна.

На экспериментальной установке по разработанным методикам определены следующие параметры и характеристики: моменты инерции ведущей и ведомой систем, характеристика жесткости, крутящие моменты, действующие на детали ячеистого МСХ, угловые скорости обоймы и звездочки в период включения механизма и углы холостого поворота обоймы и звездочки.

13. Величина и характер изменения крутящего момента, действующего на детали ячеистого МСХ, измерялись при помощи сконструированного моментомера, где в качестве датчика применен специально разработанный датчик генераторного типа, который обладает хорошей устойчивостью подачи

сигналов, широким диапазоном действия и работает без усилителя.

14. Период включения привода ротора измельчителя комбайна исследовался при различных углах холостого поворота обоймы, которые определялись с точностью до 20' посредством датчиков с фотоэлементами и осциллографирования.

15. Результаты экспериментальных исследований показали, что наибольший крутящий момент действует на ячеистый МСХ в период включения ротора измельчителя и колеблется в пределах 45—110 кгм, в то время как при установившемся движении на холостом ходу кукурузоуборочного комбайна он не превышает 20 кгм.

Сравнительные испытания по определению усилий, действующих на МСХ в период включения привода ротора измельчителя, выполнены на лабораторной установке для четырех типов МСХ (5-ячеистого, 10-ячеистого, сухарикового и роликового по нормали МН-3-58). Из анализа результатов испытаний следует, что наибольший крутящий момент действует на пятиячеистый МСХ, несколько меньший — на десятиячеистый, еще меньший — на сухариковый, и самый малый — на роликовый МСХ.

16. На основании экспериментальных исследований удалось уточнить закономерность движения обоймы и звездочки при ударном включении ячеистого МСХ. Специфической особенностью такого включения ячеистого МСХ является его расклинивание, а затем обгон ведомого звена и последующие соударения при затухающем характере всего процесса включения.

Результаты изменения угловых скоростей обоймы и звездочки в период включения ячеистого МСХ, найденные теоретическим путем по уточненному решению, имеют хорошее качественное совпадение с результатами, полученными экспериментально, в первой фазе удара и относительно небольшое количественное расхождение, что дает основание рекомендовать указанные формулы для расчетов ячеистых МСХ.

17. Используя результаты теоретических и экспериментальных исследований, а также опыт конструирования ячеистых МСХ, автором совместно с работниками завода разработаны три новых модификации ячеистых МСХ, которые были испытаны в заводской лаборатории на кукурузоуборочном комбайне «Херсонец-7».

В результате испытаний наибольшую работоспособность показал ячеистый МСХ с уменьшенной консолью на валу

измельчителя и с подшипниками повышенной долговечности.

18. С целью повышения надежности и долговечности кукурузоуборочных комбайнов «Херсонец-7» с 1 января 1971 года внедрена в серийное производство на комбайновом заводе им. Г. И. Петровского усовершенствованная конструкция ячеистого МСХ, разработанная при участии автора и рассчитанная по методике, изложенной в настоящей работе.

Экономический эффект от внедрения указанного ячеистого МСХ составляет 154 тыс. рублей в год.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

ОСВЕЩЕНО В РАБОТАХ:

1. Исследование механизмов свободного хода с ячеистой обоймой на различных режимах работы. Исследование долговечности и надежности некоторых передач. Изд. «Таврия», 1971 г., Симферополь.

2. Исследование нагрузок на механизме свободного хода ротора измельчителя кукурузоуборочного комбайна. Передаточные механизмы. Изд. «Машиностроение», Москва, 1971 г. (В соавторстве с В. Ф. Мальцевым и Г. В. Архангельским).

3. О надежности механизмов свободного хода кукурузоуборочных комбайнов. Исследование долговечности и надежности некоторых передач. Изд. «Таврия», Симферополь, 1971 г. (в соавторстве с Б. Д. Козачок и Д. Ф. Цедрик).

4. Определение жесткости механизма свободного хода с ячеистой обоймой. Исследование долговечности и надежности некоторых передач. Изд. «Таврия», Симферополь, 1971 г. (в соавторстве с В. Ф. Мальцевым и Г. В. Архангельским).

5. Исследование динамических нагрузок на механизм свободного хода ротора кукурузоуборочного комбайна «Третья общесоюзная научно-техническая конференция по вариаторам и передачам гибкой связью». Сборник тезисов докладов, Одесса, 1968 г. (в соавторстве с В. Ф. Мальцевым и Г. В. Архангельским).

6. Исследование периода включения ячеистого механизма свободного хода «Четвертая общесоюзная научно-техническая конференция по вариаторам и передачам гибкой связью». Сборник тезисов докладов, Одесса, 1972 г. (в соавторстве с В. Ф. Мальцевым).

7. Экспериментальное исследование периода включения ячеистого механизма свободного хода в системе ротора измельчителя кукурузоуборочного комбайна. «Первая Всесоюзная научно-техническая конференция по инерционно-импульсным механизмам, приводам и устройствам», сборник тезисов докладов. Челябинск, 1972 г. (в соавторстве с В. Ф. Мальцевым).

8. Номинальная геометрия и предельные отклонения в механизмах свободного хода с профилем звездочки по логарифмической спирали». Исследование долговечности и надежности некоторых передач». Изд. «Таврия», Симферополь, 1971 г. (в соавторстве с А. И. Панченко).

~~9. Исследование работы ячеистого механизма свободного хода в системе кукурузоуборочного комбайна. Отчет по хозяйственной теме, Одесса, 1970 г.~~

~~9~~ 10. Авторское свидетельство № 391304 от 28.II-1972 г.

Основные положения диссертации доложены:

1. На третьей общесоюзной научно-технической конференции по вариаторам и передачам гибкой связью. Одесса, 1968 г.

2. На четвертой общесоюзной научно-технической конференции по вариаторам и передачам гибкой связью. Одесса, 1972 г.

3. На первой всесоюзной научно-технической конференции по инерционно-импульсным механизмам, приводам и устройствам. Челябинск, 1972 г.

4. На постоянно действующем семинаре по регулируемым приводам и механизмам свободного хода. Одесса, 1973 г.