

Как видно из графика (рис. 4), напряжение  $S_0$  принимает максимальные свои значения при максимальном и минимальном передаточных отношениях вариатора. Следовательно, тяговое усилие вариатора принимает свое минимальное значение при  $i_e = 1$ . С целью повышения тяговой способности рекомендуется при конструировании дисков регулируемых шкивов изменять угол профиля канавки таким образом, чтобы в зоне  $i_e \approx 1$  угол  $2g$  имел меньшее значение, чем в других зонах. Это приводит к повышению приведенного коэффициента трения между ремнем и дисками шкивов, что способствует повышению тяговой способности вариатора.

### Литература

1. Мальцев В.Ф. Определение распорных усилий на дисках шкивов клиноременных передач / В.Ф. Мальцев, П.А. Ковалев, А.Г. Аванесьянц // Сб. «Детали машин». Техника. – 1974. – № 19. – С 46 - 52.
2. Пронин Б. А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи / Б.А. Пронин, Г. Ревков. – М.: Машиностроение, 1980. – 320 с.
3. Заблонский К.И.. Плавнорегулируемые передачи / К.И. Заблонский, А.Е. Шустер. – К.: «Техника», 1975. – 272с.

Рецензія/Peer review : 2.10.2015 р.

Надрукована/Printed : 1.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.83.062

Р.В. АМБАРЦУМЯНЦ, С.А. РОМАШКЕВИЧ

Одесская национальная академия пищевых технологий

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ДВИЖЕНИЯ СЕПАРАТОРА МЕХАНИЗМА СВОБОДНОГО ХОДА

*В роботі вивчений характер руху сепаратора з роликками відносно зірочки у вільному русі. Складені фізична і математична моделі механізму вільного ходу з циліндричними роликками з внутрішньою і зовнішньою зірочкою при одночасному русі обойми і зірочки. Отримані вирази, що дозволяють з'ясувати умови початку руху системи сепаратора з циліндричними роликками відносно зірочки при заданому притисковому зусиллі. Визначена величина сили пружини загально сепараторного притискового пристрою, при якій забезпечується безконтактний режим функціонування сепараторних механізмів вільного ходу у вільному русі залежно від величини кутової швидкості обертання зірочки з урахуванням її нерівномірності руху. Також отримані вирази, що визначають умови, при яких роликки знаходяться у контакті з поверхнями обойми і зірочки, готові до заклинювання. Приведені графіки зон контактного руху роликів і виходу механізму вільного ходу на безконтактний режим. Встановлено, що на зміну зон функціонування механізмів при заданих режимах руху доцільно впливати шляхом зміни притискового зусилля пружини, а при несталих режимах руху моментом інерції сепаратора.*

*Ключові слова: механізм вільного ходу, сепаратор с циліндричними роликками, притисковне зусилля пружини.*

ROBERT VACHAGANOVICH AMBARTSUMYANTS, SERGEY ALEKSANDROVICH ROMASHKEVICH

Odessa national academy of food technologies

### DETERMINING THE CONDITIONS OF THE FREE – WHEEL MECHANISM SEPARATOR

*Abstract – When designing the free – wheel mechanisms with separators, it's very important to provide their functioning in the given movement conditions. For wider application of free – wheel mechanisms with separators in engineering, it's advisable to determine the conditions, under which the rollers will contact to surfaces of the rollers will contact to surfaces of the casing sprocket. It's also very important to provide shifting of the rollers together with a separator to the wide part of the wedge – shaped space during prolonged free movement, that decreases friction losses.*

*The aim of the work is study of movement of separator with rollers relatively to the sprocket in free movement. Physical and mathematical models of the free – wheel mechanism with cylindrical rollers, with inner and outer sprocket under simultaneous movement of casing and sprocket, have been composed. The expressions, allowing to find out the conditions of the beginning of movement of the separator with cylindrical rollers system relatively to the sprocket under the given clamping effort, have been written. The magnitude of force of the spring of the common to all separators clamping device, under which the contactless conditions of functioning of separator free – wheel mechanisms are provided in free – wheel mechanisms are provided in free movement depending on magnitude of angular speed of the sprocket rotation, taking into account its nonuniformity of movement, has been determined. Also the expressions determining the conditions, under which rollers will be in contact to the surfaces of casing end will be ready for jamming, have been received.*

*Study of the obtained dependences has been carried out as applied to the separator free – wheel mechanism with inner and outer sprocket. The diagrams of the contact movement zone and transfer of the free – wheel mechanism to the contactless conditions, have been given. It has been proved, that change of the zones of mechanisms functioning under given conditions of movement advisable to be affected by change of clamping effort of the spring, and as for unsettled conditions of movement by the moment inertia of the separator.*

*Keywords: free-wheeling mechanism, separator with cylindrical rollers, rider effort of spring.*

Работа механизма свободного хода (MCX) характеризуется следующими процессами: заклиниванием, заклиненным состоянием, расклиниванием и свободным ходом. По характеру

функционирования МСХ можно разделить на два вида. МСХ преобразующих механизмов различных импульсных механических передач (вариаторы, инерционные трансформаторы вращающего момента и др.), работают с частотой до 100 включений в секунду, относятся к МСХ с частыми включениями, в них периоды заклиненного состояния чередуются с небольшими периодами свободного движения; МСХ комплексных гидротрансформаторов ряда строительно-дорожных машин работают циклически с частотой, не превышающей 10 включений в минуту [1, 2]. У этого вида МСХ периоды заклинивания и заклиненного состояния чередуются с незначительными по времени периодами свободного движения; МСХ автоматических коробок передач автомобилей, механизмов подач металлорежущих станков и другие работают с длительным периодом свободного хода, который превышает более половины времени их эксплуатации.

После расклинивания МСХ сепаратор с телами заклинивания может совершать вращательное движение относительно звездочки, с которой он связан упругим звеном – общесепараторным прижимным устройством. МСХ бывают с внутренней или наружной звездочкой.

В цикле работы роликовых МСХ важным является период свободного движения. Здесь характер движения системы подпружиненного сепаратора с роликами обуславливает потери в МСХ на трение и износ его рабочих элементов, готовность к заклиниванию. Также, движение сепаратора с роликами оказывает влияние на длительность цикла работы механизма и предельную частоту включения МСХ, что имеет решающее значение для механизмов первого вида.

Исключить явление износа возможно за счет функционирования МСХ в «бесконтактном» режиме, когда ролики теряют контакт с внутренней обоймой или звездочкой.

Для роликовых МСХ с индивидуальными прижимными устройствами период свободного движения достаточно изучен теоретически и экспериментально [1, 2]. Применение сепараторных прижимных устройств МСХ позволяет повысить нагрузочную способность и избавиться от колебаний ролика в МСХ с индивидуальными прижимами.

Применение сепараторных механизмов повышенной нагрузочной способности ограничивается, так как они остаются до сих пор не изученными.

Изучение характера движения сепаратора с роликами относительно звездочки в процессе потери роликами внутреннего контакта или перехода роликов на контактное движение с рабочими поверхностями обоймы и звездочки, то есть готовность к заклиниванию, направлено на выявление условий, обеспечивающих функционирование МСХ при заданных режимах его работы.

С целью разработки обоснованной методики расчета МСХ с сепараторными прижимными устройствами, совершенствования их конструкций и более широкого внедрения в системах современных машин необходимо провести теоретические исследования периода свободного движения этих механизмов.

Задачами исследований являются:

- исследование условий начального движения системы сепаратора с цилиндрическими роликами относительно звездочки при заданном прижимном усилии;
- определение величины прижимного усилия, обеспечивающего контактный или бесконтактный режимы функционирования сепараторных МСХ в свободном движении в зависимости от величины угловой скорости вращения сепаратора;

Схемы механизмов свободного хода с сепаратором и с действующими на ролики и сепаратор силами и моментами сил для наиболее общего случая движения показаны на рисунке 1. МСХ состоит из внутренней (рис. 1 а) или наружной (рис. 1 б) звездочки 2, цилиндрической обоймы 1, цилиндрических роликов 3, которые размещены в сепараторе 4. Сепаратор связан со звездочкой посредством пружины 5. Обойма и звездочка вращаются с переменными угловыми скоростями  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , а ролики вращаются вокруг своих осей с угловой скоростью  $\omega_p$ .

Период свободного движения наступает всегда при таком взаимном направлении угловых скоростей обоймы  $\omega_1$  и звездочки  $\omega_2$  и таком соотношении их величин, которые обуславливают перемещение сепаратора 4 с роликами 3 в широкую часть клинового пространства (рис. 1). При этом происходит сжатие пружины 5. Свободное движение может протекать при однонаправленном или разнонаправленном вращении обоймы и звездочки.

Для более широкого использования МСХ с сепараторами в технике, целесообразно определить условия, при которых ролики будут находиться в контакте с поверхностями обоймы и звездочки – готовы к заклиниванию. Также важно обеспечить перемещение роликов совместно с сепаратором в широкую часть клинового пространства при длительном свободном движении. При этом уменьшаются потери на трение роликами с поверхностями звездочки или обоймы.

Условия движения подпружиненного сепаратора не всегда выполняются. Это зависит от величины начального прижимного усилия пружины  $F_{n0}$ , величины угловой скорости звездочки  $\omega_2$ , а также от сил трения, возникающих в контактах роликов с поверхностями обоймы и звездочки. Влияние сил трения в значительной мере зависит от состояния поверхности и от характера движения роликов в окнах сепаратора, а именно есть вращение вокруг своих осей или нет. Таким образом, для решения задачи по определению начального перемещения сепаратора с роликами в широкую часть клинового пространства, необходимо чтобы выполнялось условие – ролики должны вращаться вокруг своих осей. Для МСХ с индивидуальными

прижимными устройствами эти вопросы достаточно полно изучены теоретически и экспериментально в работе [1]. Теоретические положения о движении роликов в период свободного хода в МСХ с индивидуальными прижимами без всяких изменений можно применить к МСХ с сепараторными прижимными устройствами.

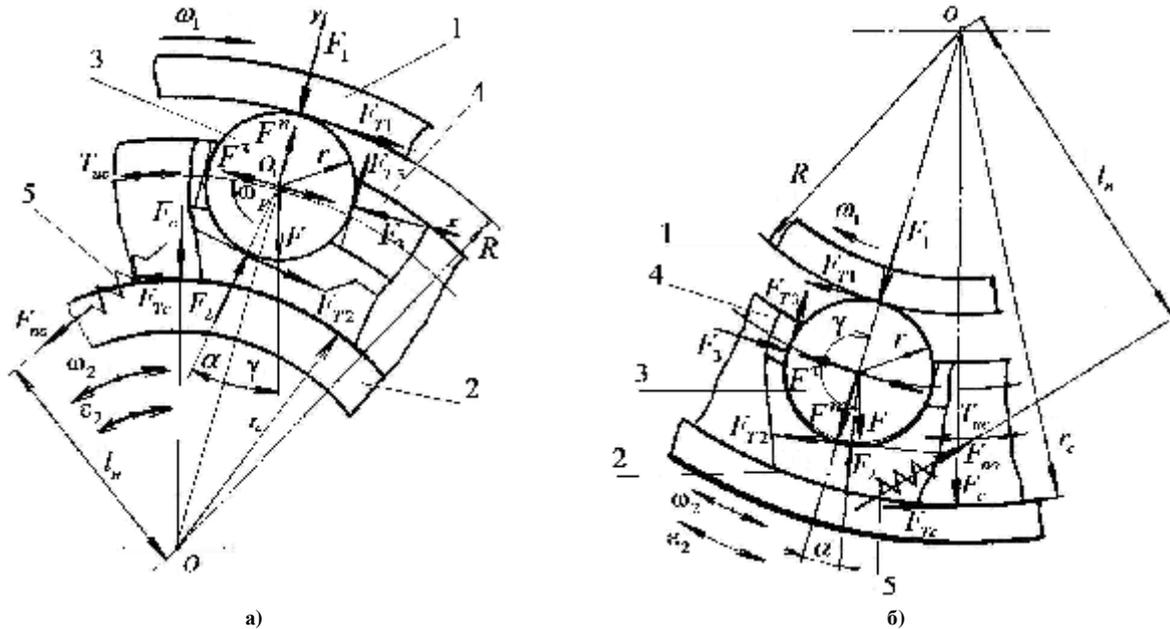


Рис. 1. Схемы роликовых механизмов свободного хода: а – с внутренней звездочкой; б – с наружной звездочкой

Для определения условий начала движения сепаратора с роликами следует рассматривать в наиболее общем случае, а именно обойма и звездочка МСХ подвижны. При этом для МСХ с внутренней звездочкой условие вращения роликов вокруг своих осей выполняется, а МСХ с наружной звездочкой – не выполняется.

Введем следующие обозначения:

$F_1; F_2; f_1; f_2$  – нормальные реакции и коэффициенты трения скольжения на поверхности контакта ролика с обоймой и звездочкой соответственно;

$F_3; f_3$  – начальное прижимное усилие, коэффициент трения скольжения на поверхности контакта ролика и сепараторного прижима соответственно;

$F^t; F^n$  – тангенциальная и нормальная составляющие силы инерции ролика;

$F$  – сила тяжести ролика;

$T_{uc}$  – момент силы инерции сепаратора;

$R$  – радиус обоймы;

$r$  – радиус ролика;

$l = R \mathbf{m} r$  – радиус окружного расположения центров роликов МСХ;

$a$  – угол заклинивания ролика;

$g_i$  – угол, определяющий направление линии действия усилия тяжести  $i$ -того ролика относительно оси  $Y$ , соединяющей центры МСХ и ролика;

$z$  – количество роликов.

Согласно обозначениям на рисунках 1 а и б, запишем уравнения динамического равновесия сепаратора с роликами в виде суммы моментов всех действующих сил относительно точки  $O$  механизма (рис. 1)  $\sum T_O = 0$  и суммы проекций всех сил на ось  $Y$ , которая направляется через центры МСХ и ролика

$\sum Y = 0$ :

$$z f_1 F_1 R + z F_2 l \sin a + z F_2 f_2 (l \cos a \mathbf{m} r) - z F_3 l \mathbf{m} z f_3 F_3 r + \sum_{i=1}^z F l \sin g_i \mathbf{m}$$

$$\mathbf{m} z F^t l \mathbf{m} T_{uc} - T_{Tc} = 0; \quad (1)$$

$$\mathbf{m} F_1 \pm F_2 \cos a \mathbf{m} f_2 F_2 \sin a \pm f_3 F_3 + F^n \mathbf{m} F \cos g_i = 0, \quad (2)$$

где  $T_{Tc}$  – момент силы трения сепаратора о направляющую поверхность звездочки.

В этих и последующих выражениях верхние знаки соответствуют механизмам с внутренней

звездочкой (рис. 1 а), нижние – механизмам с наружной звездочкой (рис. 1 б). Знаки при тангенциальной силе инерции роликов  $F^t$  и моменте силы инерции сепаратора  $T_{uc}$  – верхний знак соответствует направлению ускорения звездочки по направлению вращения часовой стрелки (в широкую часть клинового пространства), нижний – против хода стрелки (рис. 1).

Так как ролики в окнах сепаратора расположены по окружности равномерно, то в уравнении (1)

$$\text{член } \sum Fl \sin g_i = 0.$$

Величина  $zF_3 = F_{n0}$  – начальное прижимное усилие, действующее на сепаратор.

В результате совместного решения уравнений равновесия (1) и (2) находим нормальные реакции  $F_1$  и  $F_2$  :

$$F_1 = \frac{1}{z[f_1 R(\cos a - f_2 \sin a) + l(\sin a + f_2 \cos a) \pm f_2 r]} \times \left\{ F_{no} \left\{ l[(1 + f_2 f_3) \cos a + (f_3 - f_2) \sin a] \pm r[f_3 \cos a - f_2 f_3 (1 + \sin a)] \right\} \pm \right. \\ \left. \times \left[ \pm zF^n [l(\sin a + f_2 \cos a) \mathbf{m} f_2 r] \pm zF^t l(\cos a - f_2 \sin a) + T_{Tc}(\cos a - f_2 \sin a) \right] \right\} \quad (3)$$

$$F_2 = \frac{1}{z[f_1 R(\cos a - f_2 \sin a) + l(\sin a + f_2 \cos a) \pm f_2 r]} \times \\ \times \left[ F_{no} (l \pm f_3 r - f_1 f_3 R) \mathbf{m} z f_1 R F^n \pm zF^t l \pm T_{uc} + T_{mc} \right] \quad (4)$$

Сепаратор остается неподвижным, если выполняется условие контакта роликов с рабочими поверхностями обоймы и звездочки при силах  $F_1 > 0$  и  $F_2 > 0$ .

Силы инерции ролика, момент силы инерции и момент силы трения сепаратора определяются выражениями:

$$F^n = mlw_2^2; \quad (5)$$

$$F^t = mle_2; \quad (6)$$

$$T_{uc} = e_2 I_0; \quad (7)$$

$$T_{Tc} = F_0 f_c r_c. \quad (8)$$

После подстановки выражений (5), (6), (7) и (8) в выражения (3) и (4) получаем величины общего начального прижимного усилия, обеспечивающего контакт роликов с поверхностями обоймы и звездочки при условии, что  $F_1 > 0$  и  $F_2 > 0$ . Соответственно получаем выражение, по которому можно получить величину прижимного усилия общесепараторного прижимного устройства МСХ: с внутренней обоймой для обеспечения контактного движения роликов

$$F_{n01} > \frac{1}{l[(1 + f_2 f_3) \cos a + (f_3 - f_2) \sin a] \pm r[f_3 \cos a - f_2 f_3 (1 + \sin a)]} \times \\ \times \left\{ \mathbf{m} z m l w_2^2 [l(\sin a + f_2 \cos a) \mathbf{m} f_2 r] \mathbf{m} e_2 (\cos a - f_2 \sin a) \cdot (z m l^2 + I_0) - F_0 r_c f_c \right\}. \quad (9)$$

Аналогично получаем выражение, по которому можно получить величину прижимного усилия общесепараторного прижимного устройства МСХ с внутренней звездочкой для обеспечения контактного движения роликов

$$F_{n02} > \frac{1}{l \pm f_3 r - f_1 f_3 R} \left[ \pm z m l w_2^2 f_1 R \mathbf{m} e_2 (z m l^2 + I_0) - F_0 r_c f_c \right], \quad (10)$$

где  $F_0 = F_c + F \sum_{i=1}^z \sin^2 g_i$  – усилие тяжести системы сепаратора с роликами;

$F_c$  – усилие тяжести сепаратора;

$I_0 = I_c + zI_p$  – момент инерции системы сепаратора с роликами;

$I_c$  – момент инерции сепаратора;

$I_p$  – момент инерции ролика относительно центра МСХ;

$m$  – масса ролика;

$w_2$  и  $e_2$  – угловая скорость и угловое ускорение звездочки;

$r_c$  – радиус центрирующей поверхности сепаратора и звездочки.

Из выражений (3) и (4) с учетом (5), (6), (7) и (8) при условии, что  $F_1 > 0$  и  $F_2 > 0$  определяем

максимальную угловую скорость звездочки  $w_{21\max}$  и  $w_{22\max}$ , при которой сепаратор будет неподвижным, ролики находятся в контакте с рабочими поверхностями соответственно обоймы и звездочки:

- для МСХ с наружной звездочкой

$$w_{21\max} < \sqrt{\frac{1}{zml[l(\sin a + f_2 \cos a) + f_2 r]} \left\{ F_{no} \left[ l[(1 + f_2 f_3) \cos a + (f_3 - f_2) \sin a] - r[f_3 \cos a - f_2 f_3 (1 + \sin a)] \right] \right\} \mathbf{m} \left[ \mathbf{me}_2 (\cos a - f_2 \sin a) (zml^2 + I_0 - F_0 r_c f_c) \right]} \quad (11)$$

- для МСХ с внутренней звездочкой

$$w_{22\max} < \sqrt{\frac{1}{zml f_1 R} \left[ F_{no} (l + f_3 r - f_1 f_3 R) \pm e_2 (zml^2 + I_0) + F_0 r_c f_c \right]} \quad (12)$$

В МСХ с длительным периодом свободного движения, уменьшение потерь на трение обеспечивается функционированием при потере роликами контакта с внутренней звездочкой или обоймой.

Для обеспечения «бесконтактного» режима МСХ необходимое условие, обеспечивающее начальное движение сепаратора с роликами в широкую часть клинового пространства, получим из уравнения (1) принимая последовательно  $F_2 = 0$  и  $F_1 = 0$ .

Имеем:

- для МСХ с внутренней звездочкой

$$zF_3 (l + f_3 r) \leq z f_1 F_1 R \mathbf{m} z F^t l \mathbf{m} T_{uc} - T_{Tc}; \quad (13)$$

- для МСХ наружной звездочкой

$$zF_3 (l - f_3 r) \leq z F_2 [l(\sin a + f_2 \cos a) + f_2 r] \mathbf{m} z F^t l \mathbf{m} T_{uc} - T_{Tc}. \quad (14)$$

Из уравнения (2) для величины нормальных реакций  $F_1$  и  $F_2$  в контакте роликов, соответственно с наружной обоймой и наружной звездочкой находим:

$$F_1 = f_3 F_3 + F^n; \quad (15)$$

$$F_2 = \frac{F^n - f_3 F_3}{\cos a - f_2 \sin a}. \quad (16)$$

После подстановки выражений (15) и (16) в неравенства (13) и (14) с учетом (5), (6), (7) и (8) получаем величины прижимных усилий, обеспечивающих потерю роликами внутреннего контакта для сепараторных МСХ, соответственно, с внутренней и наружной звездочками:

$$F_{no2} \leq \frac{1}{l + f_3 r - f_1 f_3 R} \left[ zml w_2^2 f_1 R \mathbf{me}_2 (zml^2 + I_0) - F_0 f_c r_c \right]; \quad (17)$$

$$F_{no1} \leq \frac{1}{l[(1 + f_2 f_3) \cos a + (f_3 - f_2) \sin a] - r[f_3 \cos a - f_2 f_3 (1 + \sin a)]} \times \left\{ zml w_2^2 [l(\sin a + f_2 \cos a) + f_2 r] \mathbf{me}_2 (\cos a - f_2 \sin a) (zml^2 + I_0) - \left[ -F_0 f_c r_c (\cos a - f_2 \sin a) \right] \right\}. \quad (18)$$

Значение угловой скорости звездочки, при которой должно выполняться условие начала относительного движения системы сепаратора с роликами находим по выражениям:

- для МСХ с внутренней звездочкой

$$w_{22} \geq \sqrt{\frac{F_{no} (l + f_3 r - f_1 f_3 R) \pm e_2 (zml^2 + I_0) + F_0 f_c r_c}{zml f_1 R}}; \quad (19)$$

- для МСХ с наружной звездочкой

$$w_{21} \geq \sqrt{\frac{1}{zml[l(\sin a + f_2 \cos a) + f_2 r]} \left\{ F_{no} \left[ l[(1 + f_2 f_3) \cos a + (f_3 - f_2) \sin a] - r[f_3 \cos a - f_2 f_3 (1 + \sin a)] \right] \right\} \mathbf{m} \left[ \mathbf{me}_2 (\cos a - f_2 \sin a) (zml^2 + I_0) - F_0 r_c f_c \right]} \quad (20)$$

При известных законах изменения угловой скорости  $w_2(t)$  и ускорения  $e_2(t)$  или величине начального прижимного усилия  $F_{no}$  общесепараторного прижимного устройства можно определить зоны функционирования МСХ при наличии контакта или его отсутствия с рабочими поверхностями обоймы и звездочки.

Проведены исследования зависимостей (9) и (10), также (17) и (18) применительно к сепараторному МСХ с внутренней звездочкой главного редуктора вертолета [3] со следующими параметрами:  $z = 18$ ;

$R=0,09$  м;  $r_c=0,0675$  м;  $l_n=0,0675$  м;  $a=7^0$ ;  $m=0,035$  кг;  $F_c=11,5$  Н;  $I_c=5,16 \cdot 10^{-2}$  кг·м<sup>2</sup>;  $f_1=f_2=f_3=0,1$ ;  $f_c=0,13$ .

На рисунке 2 а приведены графики зависимости прижимных усилий для МСХ с внутренней звездочкой от угловой скорости  $\omega_2 = 0 \dots 100 \text{ c}^{-1}$  при угловом ускорении  $e_2 = 0$  (кривая 1) и  $e_2 = 10 \text{ c}^{-2}$  (кривые 2 и 3), направленном по часовой стрелке и соответственно против (рис. 1,а).

Аналогичные исследования проведены для сепараторного МСХ с наружной звездочкой, который отличается от МСХ с внутренней звездочкой только размерами  $R=0,072$  м,  $r_c=0,09$  м. Изменение прижимного усилия для МСХ с наружной звездочкой при вышеуказанных значениях угловой скорости, а также углового ускорения показано кривыми 4, 5, 6 (рис. 2).

Значение начального прижимного усилия, при котором ролики теряют контакт со звездочкой в МСХ с внутренней звездочкой, определять по выражению (17), а для МСХ с наружной звездочкой, когда ролики отрываются от внутренней обоймы по выражению (18). Согласно графикам на рисунке 2 а можно определить зоны контактного движения роликов со звездочкой и обоймой и зоны выхода МСХ на бесконтактный режим.

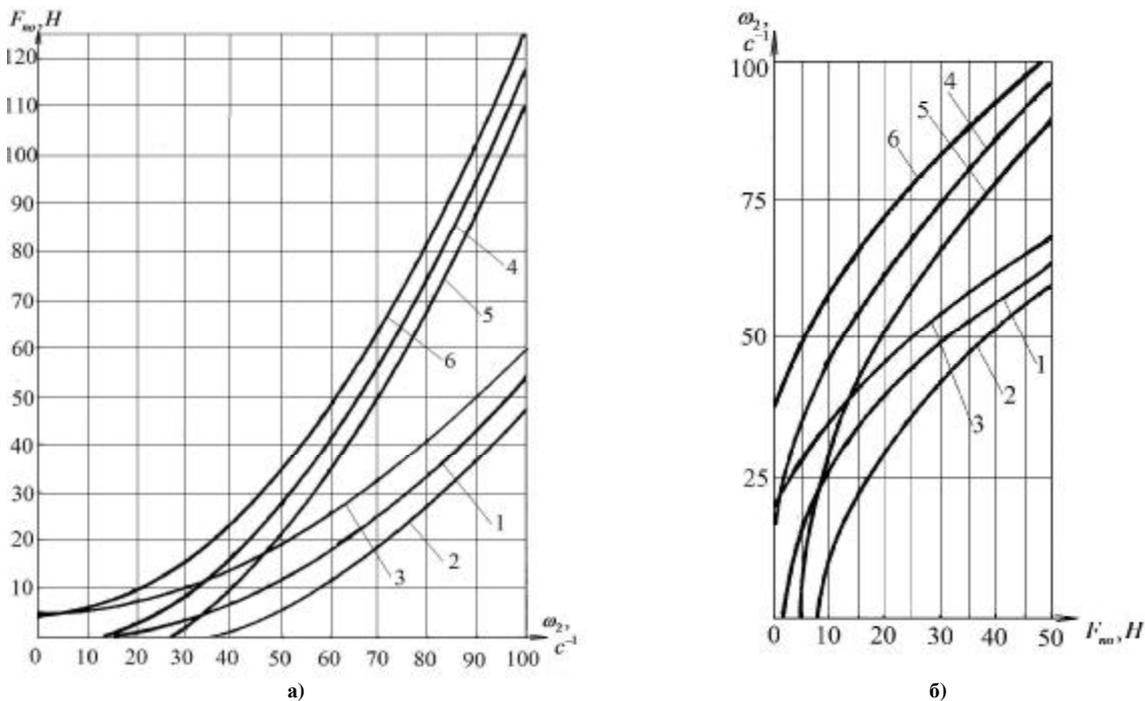


Рис. 2. Графики изменения: а) – прижимных усилий; б) – угловых скоростей механизмов свободного хода: 1, 2, 3 – с внутренней звездочкой; 4, 5, 6 – с наружной звездочкой

Проведены исследования зависимостей (11) и (12), также (19) и (20) применительно к указанному ранее сепараторному МСХ с внутренней и наружной звездочкой. Определены величины угловых скоростей, обеспечивающих потерю роликом внутреннего контакта для МСХ с внутренней звездочкой и наружной звездочкой определять соответственно по выражениям (19) и (20).

На рисунке 2 б приведены графики зависимости угловых скоростей для МСХ с внутренней и наружной звездочкой от прижимных усилий  $F_{no} = 0 \dots 50 \text{ H}$  при угловом ускорении  $e_2 = 0$  (кривая 1) и  $e_2 = 10 \text{ c}^{-2}$  (кривые 2 и 3), направленном по часовой стрелке и соответственно против (рис. 1). Изменение угловых скоростей для МСХ с наружной звездочкой при вышеуказанных значениях прижимного усилия, а также углового ускорения показано кривыми 4, 5, 6 (рис. 2 б).

Изменяя величины, входящие в выражения (9), (10), (11), (12), (17), (18), (19) и (20), можно влиять на расположение зон функционирования МСХ в свободном движении.

**Анализируя, результаты исследования заключаем:**

1. Качественный характер изменения прижимных усилий, гарантирующих контактное движение роликов или обеспечивающих потерю внутреннего контакта, одинаков.
2. Контакт роликов с рабочими поверхностями обоймы и звездочки определяется зоной, находящейся над расчетной кривой (рис. 2 а), так как ниже ее ролики теряют контакт.
3. Угловые ускорения звездочки  $e_2$ , направленные по часовой стрелке (рис. 1), обуславливают действие сил инерции сепаратора с роликами в узкую часть клинового пространства. При обратном направлении ускорения звездочки способствуют выводу их в широкую часть клинового пространства,

поэтому прижимные усилия существенно возрастают (рис. 2 а).

4. При проектировании МСХ, в которых, по условиям функционирования, требуется постоянный контакт роликов, следует использовать механизм с внутренней звездочкой и по формуле (10) определять прижимное усилие общесепараторного прижимного устройства. Для бесконтактных МСХ – рационально применять наружную звездочку и согласно выражению (18) определять  $F_{no}$ .

### Литература

1. Мальцев В.Ф. Роликовые механизмы свободного хода / В.Ф. Мальцев. – М.: Машиностроение, 1968. – 416 с.

2. Пилипенко М. Н. Механизмы свободного хода / М.Н. Пилипенко. – М.: Машиностроение, 1966. – 287 с.

3. Механические передачи вертолетов / Л.Б. Бушмарин, П.П. Дементьев, Г.И. Иоффе и др.; под ред. В.Н. Кестельмана. – М.: Машиностроение, 1983. – 120 с.

Рецензія/Peer review : 24.10.2015 р.

Надрукована/Printed : 1.11.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 629.06

Д.О. ДМИТРИЄВ, Е.С. АППАЗОВ, С.А. РУСАНОВ, О.І. КЛЮЄВ

Херсонський національний технічний університет

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗІГРІВУ ДВИГУНА З ТЕПЛОВИМ АКУМУЛЯТОРОМ ПРИ ПЕРЕДПУСКОВІЙ ПІДГОТОВЦІ

*Проведено моделювання процесу розігріву двигуна з тепловим акумулятором при його передпусковій підготовці. Розглянуті питання моделювання фазового переходу в теплоакumuлюючій речовині. Загальне рішення проводилося в два етапи: моделювання окремих частин в CFD системах та розрахунки за методом еквівалентних теплових схем.*

*Ключові слова: теплоаккумулятор, двигуни внутрішнього згорання, моделювання*

D.O. DMITRIEV, E.S. APPAZOV, S.A. RUSANOV, O.I. KLUEV

Kherson national technical university

### HEATING THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH A HEAT-ACCUMULATING ELEMENT DURING ENGINE START MODELING

*The simulations of the heating process of the engine with a heat-accumulating element during engine start are considerable. The article studies the questions of modeling the phase transition in the heat storage substance. The general solution was carried out in two stages: modeling of individual parts in CFD and calculations by the method of equivalent thermal schemes. Showing solutions for system: heat storage material - circulating fluid - internal combustion engine. The results of the simulation of the heat-accumulating element with a fuzzy boundary phase transition and phase transition in the form of a delta function.*

*Keywords: heat-accumulating, internal combustion engine, modeling*

**Вступ.** Одним з рішень, що дозволяють мінімізувати негативні наслідки холодного пуску двигунів, є передпускова тепла підготовка двигуна, реалізована за допомогою передпускових підігрівників, зокрема, теплових акумуляторів [1,2]. Акумуляування теплової енергії від різних джерел і її використання при пуску, як вказується в [1], може дати економію палива до  $15 \div 20 \%$ , а за нашими даними [3] до  $7 \div 10 \%$ .

Теплота в теплоаккумуляторах для передпускового розігріву двигуна запасається робочими тілами, що зберігаються при заданій температурі у твердому або рідкому стані в спеціальних ємностях. Розрізняють наступні основні типи теплоаккумуляування [4]:

- теплове акумуляування енергії твердими й рідкими тілами за рахунок зміни температури речовини – теплоємнісна акумуляція;
- теплове акумуляування енергії за допомогою використання теплоти фазового переходу;
- термохімічне акумуляування теплової енергії.

**Постановка задачі.** В [2,5] були розглянуті результати розрахункових досліджень гідродинаміки й теплообміну двигуна з визначенням нерівномірності прогріву блоку циліндрів і голівки блоку циліндрів, необхідним часом прогріву для заданих параметрів навколишнього середовища стосовно до акумуляторів теплоти на фазових переходах. Детальне узгодження гідродинамічної задачі в каналах двигуна й теплообміну з фазовим переходом у теплоаккумуляторі вимагає ретельної підготовки моделі теплоаккумулятора, яка повинна задовольняти з одного боку вимогам достатньої розрахункової точності, і при цьому мати відносно просту й стійку чисельну реалізацію (дослідження проводяться в рамках щорічного Гранту Президента на 2015 рік для докторів наук згідно договору та технічного завдання між Державним фондом фундаментальних досліджень та Херсонським національним технічним університетом).

**Виклад основного матеріалу.** Як відомо, на основі теплового балансу для поверхні розділу фаз