

**Камель Г.И.,\***  
**Куликовский Р.А.,\***  
**Ершов В.А.,\***  
**Олексеенко С.В.\*\***

\*Запорожский национальный технический университет,  
 г. Запорожье, Украина,  
 \*\*Черниговский государственный технологический университет,  
 г. Чернигов, Украина

## ОСОБЕННОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ И КОМПЕНСАЦИИ ИЗНОСА В КОНИЧЕСКИХ СОПРЯГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

В последнее время, в машиностроении при автоматизации технологических процессов и проектировании оборудования, начали широко использовать устройства для компенсации износа вращающихся деталей. Преимущество способа компенсации износа состоит в следующем: во вращающихся деталях неизбежны процессы износа, что влечет за собой образование недопустимых зазоров и последующее снижение производительности и надежности оборудования; возможность автоматизации производственных процессов, так как компенсация износа выполняется без остановки работы всего агрегата; простота в проведении ремонтно-восстановительных работ поверхностей трения; компенсация износа не влияет на работу всего механизма [1]. Поэтому, дальнейшее развитие исследований в области триботехники процессов в узлах трения, компенсирующих износ, является актуальной задачей.

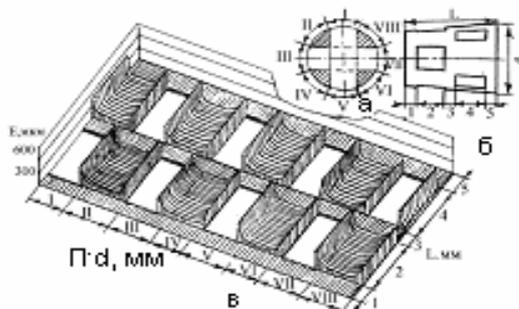
Цель исследований - получение распределения износа и конусности по рабочим коническим поверхностям деталей конических трибосистем. Определение способов компенсации зазора. Установление факторов, влияющих на износ.

В работе рассмотрены опыт эксплуатации и закономерности изнашивания сопрягаемых конических поверхностей на примере роторных питателей высокого давления (ПВД) непрерывной варки целлюлозы установки шведской фирмы Камюр. Питатели работают в тяжелых условиях: щелочная среда, перепад давления составляет 0,15 ... 1,2 МПа, температура 160 °С. Установки такого типа работают в России (количестве 75 штук), в США – 150 штук, в мире около 500 установок. В Украине подобные установки работают на Херсонском, Измаильском и Жидачевском целлюлозно-бумажных комбинатах. Работа выполнялась на протяжении 30 лет в основном на предприятиях России, где используются для загрузки щепы в варочный котел транспортные системы ПВД.

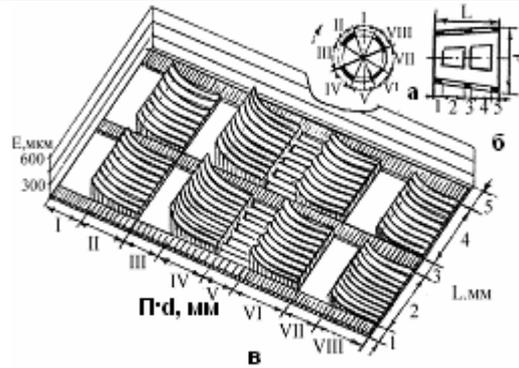
Конструкция, методика определения износа, особенности изнашивания, оптимизация рабочих параметров и техпроцессов ремонта изложены в работах [1, 2]. Согласно работе Костецкого [2], среди перспективных методов повышения надежности и долговечности машин и механизмов, новым направлением при проектировании современных машин являются:

- 1) создание конструкций, износ которых наименьшим образом влияет на работу механизма;
- 2) принцип равномерного износа сопрягаемых поверхностей;
- 3) возможность постоянной и своевременной компенсации износа.

Роторные ПВД осуществляют непрерывную (круглогодичную) загрузку древесной щепы в варочный котел. ПВД состоит из литого ротора (рис. 1) и корпуса (рис. 2), которые сопрягаются по коническим поверхностям (конусность 1:20).



**Рис. 1 – Распределение износа (E, мкм) по рабочей поверхности корпуса:**  
 а, б – поперечный и продольный разрез корпуса;  
 в – развертка корпуса в аксонометрии;  
 d, L – диаметр и длина корпуса;  
 I, II ... VIII, 1, 2...5 – условная разбивка корпуса по длине окружности и образующей корпуса



**Рис. 2 – Распределение износа ( $E$ , мкм) по рабочей поверхности корпуса:**  
**а, б – поперечный и продольный разрез корпуса; в – развертка корпуса в аксонометрии;**  
 **$d, L$  – диаметр и длина корпуса;**  
**I, II...VIII, 1, 2...5 – условная разбивка корпуса по длине окружности и образующей корпуса**

На рис. 1 и 2 приведены схемы ротора и корпуса, где а и б – поперечные и продольные разрезы корпуса; в – развертки в аксонометрии. Условно рабочие поверхности ротора и корпуса разделены на восемь характерных участков по длине окружности и на пять по образующей ротора и корпуса [1].

В табл. 1 приведен материальный баланс рабочих конических поверхностей ротора и корпуса. Из рис. 1 и 2 и табл. 1 видно, что рабочие поверхности ротора можно разделить на: рабочие конические поверхности ротора и корпуса, которые обеспечивают функции зазорного устройства –  $2700 \text{ см}^2/38 \%$ ; окна загрузки и выгрузки  $2700 \text{ см}^2/38 \%$ ; основание и средние перемычки ротора –  $1500 \text{ см}^2/21 \%$ .

Рабочие поверхности ротора и корпуса на участках 2 и 4 по окнам изнашиваются под действием следующих видов изнашивания: абразивного; гидроабразивного; ударно-абразивного; изнашивания при срезании щепы. В сопряжении величина зазора достигает больших величин от 2-х до 4-х мм. Через эти зазоры осуществляется протечка щелочи, величина которой определяется по формуле:

$$Q_n = a \cdot \delta^3, \quad (1)$$

где  $Q_n$  – протечка щелочи в питателе из варочного котла,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$a = \frac{(P_k - P_n) \cdot L}{\mu \cdot l_\Sigma}$  – коэффициент пропорциональности, зависит от перепада давления в варочном котле

ном котле  $P_k = 1,2 \text{ МПа}$  и в питательной трубе  $P_n = 0,15 \text{ МПа}$ ;

$L$  – длина зазора, м;

$l_\Sigma$  – суммарная длина зазора, м;

$\delta$  – величина зазора в питателе, мм.

В результате изнашивания рабочих поверхностей ротора и корпуса между ними на участках 2 и 4 питателя возникает критический зазор, при котором протечки щелочи достигают критической величины. При этом загрузка щелочи варочного котла прекращается. Для возобновления загрузки варочного котла осуществляется компенсация критического зазора в питателе, которая осуществляется за счет осевого перемещения конического ротора вглубь конического корпуса. При перемещении ротора на  $1000 \text{ мкм}$ , величина зазора в питателе при конусности  $1:20$  уменьшается на  $25 \text{ мкм}$ . Компенсация критического зазора (ККЗ) выполнялась один раз в  $5 \dots 7$  суток. При этом возможно заклинивание, схватывание и заедание ротора относительно корпуса и досрочное снятие более  $40 \%$  роторных ПВД. Величина износа на этих участках (рис. 1 и 2) достигает  $2 \dots 4 \text{ мм}$ , а шероховатость до  $150 \dots 200 \text{ мкм}$ . На рис. 3 приведена зависимость площади кривой износа ( $E$ ) от величины зазора в ПВД ( $\delta_0$ ) и концентрации твердых частиц (3). Таким образом, по мере образования зазора в результате изнашивания осуществляется его компенсация в питателе.

Таблица 1

## Материальный баланс рабочих поверхностей сопряжения ротора и корпуса

№	Наименование параметров сопряжения	В начале эксплуатации	В середине эксплуатации	В конце эксплуатации	Величина зазора при ККЗ, мкм		Величина зазора при ПМКЗ, мкм		Шероховатость поверхности $R_z$ , мкм	
					До работы	Во время работы	До работы	Во время работы	До работы	Во время работы
1	Общая площадь сопряжения, см <sup>2</sup> /%	$\frac{7000}{100}$	$\frac{7000}{100}$	$\frac{7000}{100}$	-	-	-	-	-	-
2	Сопряжения площадей основания и средней перемычки см <sup>2</sup> /%	$\frac{170}{2,5}$	$\frac{1500}{21}$	$\frac{170}{2,5}$	50	50-100	50	10-15	40	20
3	Площадь окон загрузки см <sup>2</sup> /%	$\frac{700}{10}$	$\frac{700}{10}$	$\frac{700}{10}$	-	-	-	-	-	-
4	Площадь окон выгрузки см <sup>2</sup> /%	$\frac{420}{6}$	$\frac{420}{6}$	$\frac{420}{6}$	-	-	-	-	-	-
5	Площадь сброса давления см <sup>2</sup> /%	$\frac{280}{4}$	$\frac{280}{4}$	$\frac{280}{4}$	200-8000	200-8000	200-8000	200-8000	-	-
6	Площадь сопряжения обеспечения запорных свойств см <sup>2</sup> /%	$\frac{2700}{38}$	$\frac{2700}{38}$	$\frac{2700}{38}$	50	2000-4000	50-50	250-650	150-200	250-500
7	Площадь окон ротора и корпуса см <sup>2</sup> /%	$\frac{2700}{38}$	$\frac{2700}{38}$	$\frac{2700}{38}$	-	-	-	-	-	-

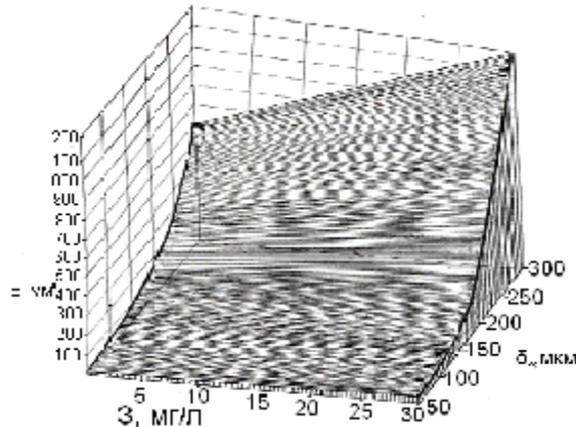


Рис. 3 – Зависимость площади кривой износа ( $E$ ) от величины зазора в ПВД ( $\delta_0$ ) и концентрации твердых частиц ( $Z$ )

С целью устранения явления заклинивания, схватывания и заедания ротора относительно корпуса предложена новая принудительная микротолчковая компенсация зазора (ПМКЗ), которая позволяет увеличить значение числа компенсации с 50...100 до 400...800.

На основаниях 1 и 5 и средних 3 перемычках ротора и корпуса износ минимальный, на них приходится  $1500 \text{ см}^2 / 21\%$  в середине эксплуатации и  $170 \text{ см}^2 / 2,5\%$  в начале и в конце работы питателя. На этих участках ротора при выполнении ККЗ имеют место граничное трение, сопровождающиеся явлениями заклинивания, схватывания и заедания ротора относительно корпуса. При компенсации зазора в режиме ПМКЗ имеет место стабильное жидкостное трение. При этом величина зазора на данных участках не превышает 10...15 мкм, соизмеримых с высотой микронеровности зеркальных поверхностей ротора и корпуса. Изнашивание на этих участках происходит по аналогии с гидродинамическими подшипниками скольжения, под действием нагнетания щелочи под избыточным давлением 1,2 МПа, содержащих в щелочи абразивных частиц диаметром 1...5 мкм обуславливающих гидроабразивное изнашивание.

Для устранения самозаклинивания и облегчения расцепления ротора и корпуса на основаниях и средних перемычках необходимо соблюдать условия

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{k}{2}\right) = \operatorname{arctg}(2\alpha) = \beta > \rho = \operatorname{arctg}(f) \quad (2)$$

$$1^\circ 25' 56'' = \beta < \rho = 3^\circ 26',$$

где  $k = 2 \operatorname{tg} \alpha$  – конусность сопрягаемых поверхностей;

$f$  – коэффициент трения;

$\rho$  – коэффициент трения скольжения.

При конусности  $k = 1:20$  и коэффициента трения  $f = 0,15$  решение уравнения (2) показывает, что имеет место при компенсации зазора граничное трение. Поэтому необходимо переходить на конусность 1:15 или 1:10 и использовать ПМКЗ.

О возможности компенсации износа в роторном питателе судят по величине суммарного износа в питателе, идущего на компенсацию зазора.

$$S = S_p + S_k = \frac{\Pi_p \cdot K}{2} - \frac{\Pi_k \cdot K}{2}, \quad (3)$$

где  $S, S_p$  и  $S_k$  – суммарный зазор питателя, износ ротора и корпуса, мм;

$\Pi_p$  и  $\Pi_k$  – прижим ротора или корпуса, мм.

Для роторного ПВД производительностью 500 тонн/сутки  $k = 1:20$ ;  $\Pi_p = 100$  мм;  $\Pi_k = 0$ ;  $S = S_p + S_k = 1,0 + 1,5$  мм. При выполнении компенсации зазора (перемещение ротора в осевом направлении) можно делать до 100 компенсаций за все время эксплуатации.

Одним из способов компенсации износа в современных автоматизированных установках являются конические сопрягаемые поверхности. Анализ литературных данных у нас и за рубежом показал, что информация об использовании конических поверхностей и закономерностях износа практически отсутствует.

На рис 4, а приведена схема сопрягаемых поверхностей корпуса 2 и ротора 1. Углы конусности и уклонов ротора и корпуса определяются по формуле:

$$K = 2\text{tg}\alpha = \frac{Dp - dp}{Lp} = \frac{Dk - dk}{Lk}, \quad (4)$$

где  $Dp$  и  $Dk$  – большие основания ротора и корпуса, мм;

$dp$  и  $dk$  – меньшее основания ротора и корпуса;

$Lp$  и  $Lk$  – основания ротора и корпуса;

$K = 2\text{tg}\alpha$  – конусность сопрягаемых поверхностей;

$2\alpha$  – угол конуса, град;

$\alpha$  – угол уклона, град.

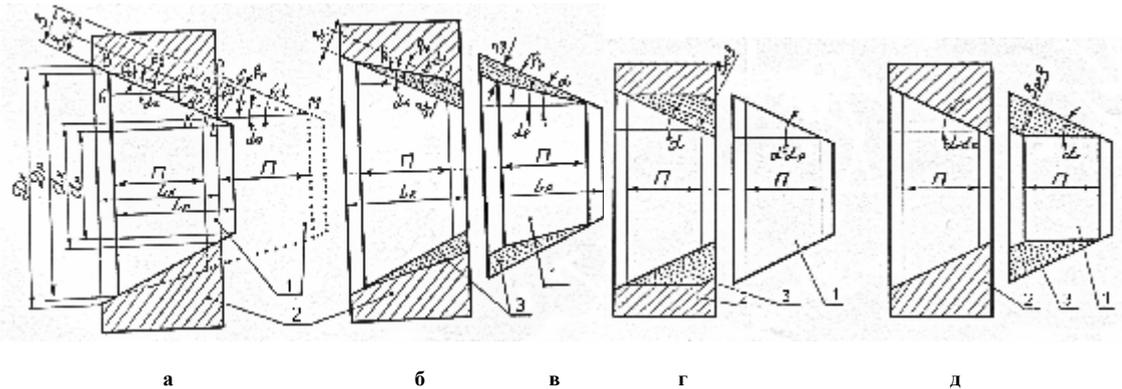


Рис. 4 – Схема компенсации износа в больших основаниях конических трибузлах роторного питателя:

а – сопряжение больших оснований ротора; до и после выработки присадки ротора;

б, в – износ в большом основании ротора корпуса при  $E_k = E_p$ ;

г, д – эпюры износа в большом основании корпуса и ротора при  $E_k = 0$ ;  $E_p = \infty$ ;  $E_k = \infty$ ;  $E_p = 0$ ;

$E_k, E_p$  – относительная износостойкость корпуса и ротора;  $P$  – прижим ротора;

$L_k, L_p$  – большие основания ротора и корпуса;

1 – большое основание ротора; 2 – большие основания корпуса; 3 – эпюры износа ротора и корпуса

В табл. 2 приведены нормальные конусности общего назначения согласно ГОСТ 3593-57, которые используются в роторных питателях установок Камюр, Пандия и Бауэр.

Таблица 2

#### Нормальные конусности общего назначения в ПВД

Конусность $K = 2\text{tg}\alpha$	Угол конусности, $2\alpha$	Угол наклона
1:20	2°51'56"	1°25'56"
1:15	3°49'6"	1°54'33"
1:12	4°46'19"	2°23'9"
1:10	5°43'29"	2°51'45"
1:8	7°9'10"	3°34'35"
1:7	8°10'16"	4°5'8"
1:5	11°25'16"	5°42'38"
1:3	18°55'29"	9°27'44"

Согласно работы [3] рабочие конические поверхности подвергаются абразивному, гидроабразивному и коррозионному видам изнашивания, в результате чего между вращающимися ротором и корпусом образуется зазор. Наличие зазора способствует прохождению через питатель избыточного количества щелочи. При зазоре  $\delta > 50$  мкм в роторном ПВД предусмотрен механизм компенсации зазора (износа), эта операция выполняется за счет перемещения конического ротора вглубь корпуса на величину присадки. Из прямоугольного треугольника (рис. 4, а) видно, что при перемещении ротора 1 на расстояние  $LE = P$  величина зазора между ротором и корпусом уменьшается на величину зазора  $LS = S$ , которые связаны между собой выражением

$$\varepsilon L = LM \sin \alpha; \quad S = P \cdot \sin \alpha = 100 \cdot \sin(1^\circ 25' 56'') = 2,5 \text{ мм}, \quad (5)$$

где  $L\varepsilon = S$  – суммарный износ питателя ( $S = Sp - Sk$ ) – суммарные рабочие слои ротора и корпуса, которые используются для компенсации зазора в ПВД), мм;

$\Pi$  – прижим ротора (осевое перемещение ротора вглубь корпуса), мм;

$\alpha$  – угол уклона ротора (корпуса), град.

В роторных ПВД величина прижима ротора достигает 100 мм, при этом величина максимально-го износа, который может компенсировать ротор достигает 2,5 мм. При конусности 1:20 при перемещении ротора на 1 мм (1000 мкм), величина зазора в питателе уменьшается на 0,25 мм (25 мкм). При этом максимальное число компенсаций, которое можно выполнить в питателе достигает 100.

При полной выработке прижима ротора 1 (см. рис. 4, а) ротор выдвигается из корпуса на величину присадки ротора  $\Pi$ . При этом исходная конусность  $K = 2\text{tg}\alpha$  на участке  $BL$  до эксплуатации претерпевает изменения. На участке сопряжения  $CD$  ротора и корпуса она сохраняется прежней, а на участке  $DM$  ротора она равняется  $K = 2\text{tg}\alpha_p$ , на участке  $BC$  корпуса она равняется  $K = 2\text{tg}\alpha_k$ .

Значения износа ротора  $Sp$  и корпуса  $Sk$  и углов уклонов  $\alpha_p$  и  $\alpha_k$  определяются через известные величины  $\Pi$  и  $\alpha$ . Значения угла уклона ротора  $\alpha_p$  после изнашивания находятся из прямоугольного треугольника  $LDM$ .

$$\sin \alpha_p = \frac{L \cdot M}{DM} = \frac{\Pi}{DM}; \quad DM = \frac{\Pi}{\sin \alpha_p}; \quad (6)$$

где  $\alpha_p$  – угол уклона ротора после износа, град;

$DM$  – длина, износившейся (выдвинутой) части ротора, определяется с помощью мерительного инструмента, мм.

Из прямоугольного треугольника  $DPM$  определяем величину износа ротора, которая используется для компенсации износа

$$DP = Sp = DM \cdot \sin \beta_p, \quad (7)$$

где  $Sp = DP$  – суммарный износ ротора, используемого для компенсации износа, мм.

Из треугольника  $LEM$  угол  $\beta_p$  выразим через углы  $\alpha$  и  $\alpha_p$  получим

$$\beta_p = \alpha + \alpha_p \quad (8)$$

В выражение (4) подставим значение выражений (6) и (8), получим

$$Sp = DM \cdot \sin \beta_p = \frac{\Pi}{\sin \alpha_p} \cdot \sin(\alpha + \alpha_p), \quad (9)$$

Выражение (6) позволяет определить величину износа  $Sp$  в зависимости от величины прижима ротора  $\Pi$  и углов уклона до эксплуатации  $\alpha$  и после эксплуатации  $\alpha_p$  ротора.

Значение износа корпуса уклона корпуса  $\alpha_k$  определим из прямоугольного треугольника  $BAC$

$$\cos \alpha_k = \frac{AC}{BC} = \frac{\Pi}{BC}; \quad BC = \frac{\Pi}{\cos \alpha_k}, \quad (10)$$

где  $BC$  – длина участка корпуса после износа (свободная от сопряжения с ротором), измеряется с помощью мерительного инструмента, мм;  $\alpha_k$  – угол уклона корпуса после износа, град.

Из прямоугольного треугольника  $СКВ$  находим величину износа корпуса с учетом выражения (7)

$$CK = Sk = BC \cdot \sin \beta_k = \frac{\Pi}{\cos \alpha_k} \cdot \sin \beta_k = \frac{\Pi \cdot \sin(\alpha - \alpha_k)}{\cos \alpha_k}, \quad (11)$$

С учётом выражений (6) и (8) и рис. 4, а величина суммарного износа питателя определяется

$$S = Sp + Sk = \frac{\Pi \cdot \sin(\alpha + \alpha_p)}{\sin \alpha_p} + \frac{\Pi \cdot \sin(\alpha - \alpha_k)}{\cos \alpha_k}, \quad (12)$$

где  $S = Sp + Sk$  – величина суммарного износа, используемого для компенсации износа ротора, мм.

Из выражений (9) и (11) после несложных преобразований получим значения уклонов ротора и корпуса:

$$\alpha_p = \arctg \left( \text{ctg} \alpha - \frac{S_k}{\Pi \cdot \sin \alpha} \right) \quad (13)$$

$$\alpha_k = \arctg \left( \text{ctg} \alpha - \frac{S_p}{\Pi \cdot \cos \alpha} \right) \quad (14)$$

где  $Lp = 60$  мм – ширина средней перемычки ротора;  
 $Lk = 60$  мм – ширина средней перемычки корпуса;  
 $f1 = f3 = 10$  мм – сопряжения между средними перемычками ротора и корпуса до и после эксплуатации.

Из формулы видно, что величина суммарного износа ротора зависит от: величины присадки ротора  $\Pi$ ; исходного уклона ротора  $\alpha p$ ; уклона корпуса  $\alpha k$ .

На рисунке 4, б и в приведены схемы износа корпуса и ротора после выработки присадки ротора. Величина износа для ротора  $Sp$  и корпуса  $Sk$  определяется по формулам (9) и (11) для случая, когда износостойкость материалов ротора и корпуса равны между собой. На рис. 4, г приведены схемы износа корпуса и ротора для случая, когда износостойкость ротора  $Ep = \infty$ , а износостойкость корпуса равно 0. При этом  $\alpha p = \alpha$ , а  $\alpha k = 0$ . На рис. 4, д приведена схема эпюр износа корпуса и ротора для случая, когда относительная износостойкость корпуса равна  $E_k = \infty$ , а ротора  $E_p = 0$ .

Рассмотрены значения износа и углов уклона ротора и корпуса до и после эксплуатации при различных исходных значениях углов уклонов и относительной износостойкости ротора и корпуса. Установлено, что при исходной конусности сопрягаемых поверхностей деталей питателя  $K = 1:20$  можно получить следующие закономерности:

- 1) величина суммарного износа конусного соединения остаётся постоянной и не зависит ни от износостойкости материалов, ни от величины прижима ротора;
- 2) с увеличением относительной износостойкости ротора происходит увеличение углов уклона и конусности на корпусе и уменьшение на роторе свободных от сопряжения;
- 3) углы уклонов и конусности на сопрягаемых участках ротора и корпуса остаются постоянными как до, так и после износа.

Аналогичные закономерности износа сопрягаемых конических поверхностей имеет место и для меньших оснований ротора и корпуса.

Иначе распределяется износ по коническим поверхностям средних перемычек ротора и корпуса. Назначение средних перемычек ротора и корпуса состоит в обеспечении надёжной автономной работы двух секций 2 и 4 (см. рис. 2) роторного ПВД. Соотношение между средними перемычками ротора и корпуса, величиной прижима ротора и сопряжениями между ними при эксплуатации определяются по формуле:

$$Lp + Lk - f1 - f2 = \Pi; 60 + 60 - 10 - 10 = 100. \quad (15)$$

На рис. 5, в приведены схемы эпюр износа средних перемычек ротора и корпуса под действием гидроабразивного износа – участок 4 и граничного трения участок 3. На рис. 5, г приведены схемы эпюр износа средних перемычек ротора и корпуса при выполнении конечной присадки ротора на величину  $\Pi k$ .

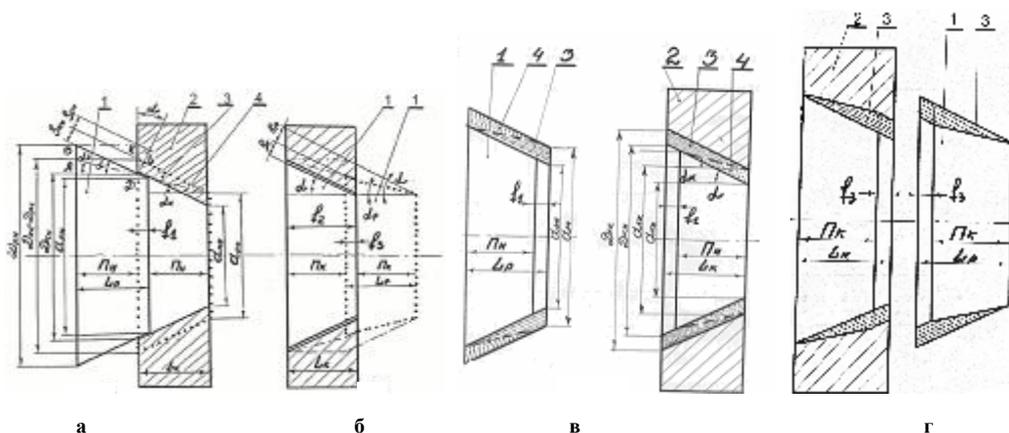


Рис. 5 – Схема компенсации износа между коническими средними перемычками ротора корпуса роторного ПВД:

- 1, 2 – средние перемычки ротора и корпуса;
- 3 – эпюры износа средних перемычек ротора и корпуса при граничном трении;
- 4 – эпюры гидроабразивного износа ротора и корпуса;
- $Lp, Lk$  – среднее основания ротора и корпуса;
- $\Pi n, \Pi k$  – прижим ротора на первом и втором этапах компенсации износа;
- $f1, f2, f3$  – сопряжение средних перемычек ротора и корпуса в начале, середине и в конце эксплуатации;
- $\alpha, \alpha k, \alpha p$  – угол уклона в начале эксплуатации, угол уклона в конце эксплуатации корпуса и ротора соответственно

Из прямоугольного треугольника  $\Delta ADB$  и  $DLK$  определим связь между прижимом ротора, исходной величиной угла  $\alpha$  уклона до и после эксплуатации:

$$\sin \alpha p \frac{Sk}{\cos \alpha \cdot \Pi n}; \quad \sin \alpha k \frac{Sp n}{\cos \alpha \cdot \Pi n}, \quad (16)$$

где  $\Pi n$  – начальная величина прижима ротора, мм;

$\alpha p, \alpha k$  – угол уклона ротора и корпуса после прижима ротора на величину  $\Pi n$ ;  
 $Sk, Sp$  – начальная величина износа корпуса, мм;  
 $\alpha$  – исходная величина уклона, град.

Из анализа рис. 5, а, б и в видно, что конструкция теоретически неработоспособна, так как при прижме ротора (перемещение ротора в осевом направлении на величину прижима ротора  $\Pi n$ ), большее основание ротора 1 не может войти в меньшее основание корпуса 2, так как ему мешают это сделать участки ADB (рис. 5, б) и участки 4 (рис. 5, в). С другой стороны, больший размер среднего основания ротора 1 не может войти в меньшее основание корпуса, так как этому мешает участок 4 (см. рис. 5, в). На практике конструкция работоспособна и объясняется это тем, что в секторе 2 (рис. 2) изнашивается под действием гидроабразивного износа участка среднего основания ротора, а в секции 4 (рис. 2) изменение высоты внутренней поверхности среднего основания корпуса. При этом известно, что скорость гидроабразивного износа на порядок выше износа при жидкостном трении–скольжении. За время равное между очередными периодами ККЗ – 5 ... 7 суток, гидроабразивный ротор перемещается в осевом направлении на 1000 ... 2000 мкм, при этом величина зазора, который можно при этом компенсировать составляет 25 ... 50 мкм (при конусности 1:20). При выполнении ПМКЗ при осевом перемещении на 250 мкм зазор между средним основанием ротора и корпуса может уменьшаться на 6,25 мкм. Таким образом, в роторном питателе заложен принцип износа оснований и средних перемещений ротора и корпуса под действием гидросмеси, состоящей из щепы и щелочного раствора. Причем участки 4 средних перемычек ротора и корпуса изнашиваются под действием гидроабразивного износа, а участки 3 средних перемычек ротора и корпуса изнашиваются при граничном или жидкостном трении.

Таким образом, наличие явления самоизнашивания отдельных участков средних перемычек ротора и корпуса позволяет обеспечить в два раза меньшие размеры средних перемычек ротора и корпуса по сравнению с основанием. Сопряжение средних перемычек ротора и корпуса изменяется с  $f1 = 10$  мм;  $f2 = 60$  мм;  $f3 = 10$  мм; в то время как для оснований  $f1 = \Pi = 100$  мм. Разность в давлении щелочи 1,2 МПа обеспечивает жидкостное трение скольжение.

### Выводы

1. Конические сопрягаемые поверхности ротора и корпуса позволяют обеспечить работу транспортной системы в автоматическом режиме за счет: равномерного износа рабочих поверхностей; обеспечения условий жидкостного трения; рациональной схемы компенсации износа; обеспечения постоянной конусности, как до, так и после эксплуатации; выполнения компенсации износа в питателе без его остановки; обеспечения и сохранения постоянной конусности на 2,5 ... 21 % поверхности ротора и корпуса.
2. Суммарную площадь сопряжений оснований и средних перемычек ротора и корпуса изменяют от 2,5 % в начале, до 21 % в середине и до 25 % в конце эксплуатации.
3. Сопряжение оснований и средних перемычек ротора и корпуса работают в режиме гидродинамического подшипника скольжения, позволяющего за счет разности в давлении щелочи (1,2 МПа) обеспечить жидкостное трение–скольжение.
4. Анализ работы роторных питателей установок Камюр показал целесообразность и надежность работы конического соединения, из которого 80 % всех поверхностей используют для выполнения главных технологических функций (загрузки; выгрузки; функции зазорного устройства), а 2,5 ... 20 % используется для обеспечения возможности стабильной компенсации износа.
5. Доказана возможность использования в конической передаче не всей ее рабочей поверхности, а части – 2,5 ... 20 %, остальную часть поверхности используют для других целей. При этом необходимо, чтобы интенсивность изнашивания на сопрягаемых поверхностях была ниже, чем на других участках.
6. В процессе эксплуатации происходит износ сопрягаемых конических поверхностей корпуса и вращающего ротора, с образованием зазора между ними. Для устранения зазора в питателе используют циклическую компенсацию износа.
7. Величина компенсации износа в питателе зависит от: конусности; величины прижима ротора; износостойкости используемых материалов.
8. Величина износа ротора или корпуса зависит от: износостойкости используемых материалов; конусности; величины прижима ротора; относительной износостойкости материалов ротора и корпуса.
9. На средних перемычках ротора и корпуса имеет место автоматическое самоизнашивание тех участков, которые соприкасаются с гидросмесью. При этом виде изнашивания обеспечивается использование размеров средних перемычек ротора и корпуса в два раза меньше, чем на основаниях ротора и корпуса.

### Литература

1. Камель Г.Н. Роторные питатели установок непрерывной варки целлюлозы. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 160 с.
2. Костецкий Б.Н., Носовский Н.Г., Бершавский Л.Н. Надежность и долговечность машин. – К.: Техника, 1975. – 408 с.
3. Камель Г.И. Повышение надежности и производительности роторных питателей непрерывной варки на базе системного анализа и функционирования // Автореферат дис. д-ра техн. наук. – СПб.: СПбГТУРП, 1999. – 36 с.

Надійшла 28.02.2011