

ДВУХСТУПЕНЧАТЫЙ СПОСОБ СМАЗКИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ОСЯМИ КОЛЕС

Представлена концепция и результаты лабораторных исследований новой системы смазки верхних подшипников и зацепления в зубчатых передачах с вертикальным расположением валов. Транспортировка масла из масляной миски реализуется в два этапа. На первом этапе происходит подъем его во вращающийся вместе с колесом маслосборник, а на втором – подъем масла к подшипниковым узлам. Предложена математическая модель, позволяющая определить высоту подъема масла в зависимости от геометрических и кинематических параметров передачи. Лабораторные исследования подтвердили эффективность работы новой системы смазки и адекватность предложенной математической модели.

Кинематическими парами зубчатой передачи являются зубчатое зацепление и подшипниковые узлы. Чрезмерные силы трения в этих кинематических парах приводят к перегреву передачи и быстрому износу подшипников и зубчатых колес.

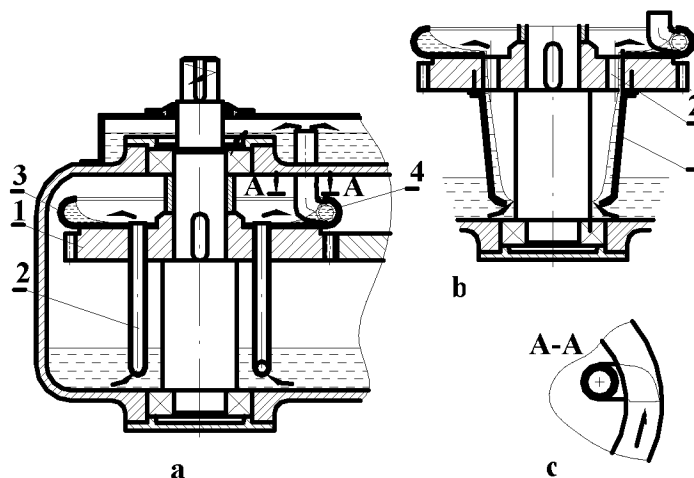
Неблагоприятное влияние трения в значительной степени можно снизить путем обеспечения надежной смазки. Обычно смазка передачи осуществляется за счет погружения части колеса в масляную ванну. При вертикальном расположении осей зубчатых колес, особенно в случае многоступенчатых передач, такой способ подачи масла в зону зацепления и к подшипникам качения является мало эффективным. Другим способом может быть полное погружение всех колес в масло. Однако это связано с большими потерями энергии. Возможна также подача масла в зону зацепления с использованием масляного насоса, что приводит к усложнению и удорожанию конструкции привода, а также к снижению его безотказности.

Несколько оригинальных и простых способов

смазки узлов трения (подшипники, зацепления), расположенных в верхней части зубчатых передач с вертикальными осями, разработано на кафедре конструкций и эксплуатации машин AGH Научно-технического университета в Кракове [1–5]. Ниже представлены схема и результаты предварительных исследований одного из способов подачи масла в зону зацепления колес и к подшипникам, расположенным выше уровня масла в корпусе передачи. Предлагается двухступенчатый способ подъема масла. На первой нижней ступени использовано явление подъема жидкости как у стенок полого вращающегося сосуда с донным отверстием, так и во вращающихся вместе с зубчатым колесом трубках полного напора, которые обеспечивают транспорт масла к маслосборнику, закрепленному на зубчатом колесе. На второй верхней ступени используется кинетическая энергия вращающейся жидкости в маслосборнике для подъема ее на необходимую высоту по неподвижным трубкам полного напора.

Описание предлагаемого способа смаз-

Рис. 1. Принципиальная схема двухступенчатого способа смазки зубчатой передачи



ки. Идея предлагаемого способа транспортировки масла в верхнюю зону передачи представлена на рис. 1, а и заключается, прежде всего, в том, что на колесе закреплен маслосборник 3, выполненный в виде диска с боковыми в виде перстня стенками. Внутри этого маслосборника размещен неподвижный маслосъемник 4, выполненный в виде трубки полного напора, который служит для отбора масла, находящегося во вращающемся маслосборнике, и транспортировки его в верхнюю зону корпуса передачи к верхним подшипниковым узлам. Как показали опыты, полное давление, возникающее на входе маслосъемной трубки, вполне достаточно для поднятия масла на необходимый уровень. При этом ясно, что часть масла, переливаясь через боковые стенки вращающегося перстня, будет разбрызгиваться внутри передачи и послужит для смазывания зубчатых зацеплений.

Для подъема масла из масляной ванны во вращающийся маслосборник предлагаются два способа его транспортировки.

Первый способ, схема которого представлена на рис. 1, а, заключается в том, что в диске зубчатого колеса 1 закреплены трубки 2, которые своими загнутыми под углом 90° нижними концами погружены в масло. При вращении колеса масло попадает в заборную часть трубки 2 и под действием напора поднимается в ней, поступая на верхнюю поверхность зубчатого колеса, где под действием центробежных сил заполняет боковую зону маслосборника.

На рис. 1, б показана схема второго способа. К нижней поверхности колеса прикреплена полая емкость вращения (цилиндр или конус) 1 с дон-

ным отверстием, частично погруженная в масляной ванне. При вращении колеса масло поднимается по внутренней поверхности этой емкости и через отверстия 2 в диске колеса поступает на верхнюю поверхность колеса.

Таким образом, предлагаемый способ подачи масла включает в себя две ступени:

на первой ступени вращающиеся трубки или, например, конус подносят масло на уровень маслосборника, находящегося вблизи внутренней поверхности верхней стенки корпуса передачи;

на второй ступени происходит подъем масла по неподвижным каналам к верхним подшипникам.

Математическая модель. Известно и достаточно хорошо описано в литературе явление подъема жидкости, находящейся в равномерно вращающемся открытом круговом сосуде (цилиндре, конусе), как пример решения задачи об относительном равновесии тяжелой жидкости, объем которой не изменяется. Однако в случае решения задачи о вращении цилиндрического сосуда с донным отверстием, погруженного на некоторую глубину в жидкость, требуется учитывать также эффект сообщающихся сосудов. Полное решение такой задачи приведено в работе [5].

В соответствии с этим решением высота подъема жидкости на нижней ступени во вращающемся цилиндре диаметром D , имеющим донное отверстие диаметром d_d , который погружен в масло на глубину h_z и вращается вокруг своей вертикальной оси с постоянной угловой скоростью ω (рис. 2), может быть определена как

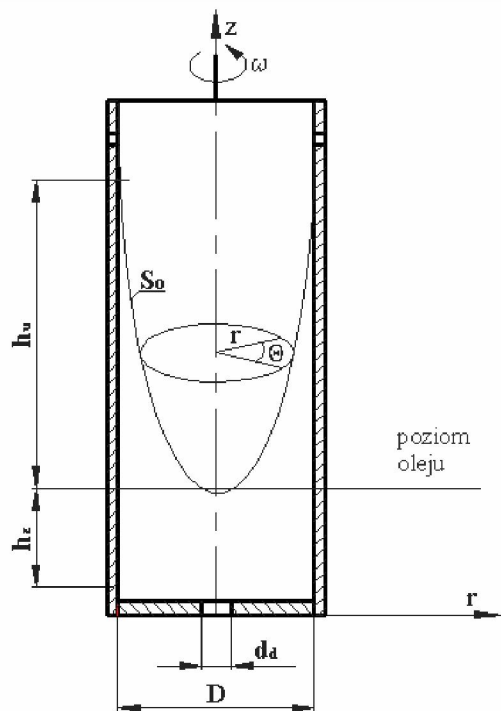


Рис. 2. Положение свободной поверхности масла во вращающемся цилиндре с донным отверстием

$$h_u = \frac{\omega^2 D^2}{8g} \left(1 - \frac{d_d^2}{2D^2} \right). \quad (1)$$

Экспериментальные исследования подтвердили, что в этом случае свободная поверхность масла, будучи горизонтальной в состоянии покоя цилиндра, по мере увеличения скорости его вращения приобретает форму параболоида вращения, радиус которого на высоте $z = h_z$ приблизительно равен радиусу донного отверстия $\frac{d_d}{2}$, что, видимо, обусловлено эффектом сообщающихся сосудов. Используя такое предположение, также можно вычислить высоту подъема жидкости в цилиндре:

$$h_u = \frac{\omega^2 D^2}{8g} \left(1 - \frac{d_d^2}{D^2} \right). \quad (2)$$

Для донного отверстия малого диаметра обе формулы дают близкие результаты.

Необходимым условием поступления масла в маслоборник является достижение определенной скорости вращения вала, которую можно вычислить из неравенства

$$\omega \geq \sqrt{\frac{8gh_u}{(D^2 - d_d^2)}}. \quad (3)$$

Математическая модель транспортировки масла с использованием вращающихся трубок и результаты лабораторных испытаний представлены в работе [3], в которой рассматривался способ подачи смазки к зубчатому зацеплению. В этом случае решение задачи о подъеме масла на первой нижней ступени приводит к формулам, аналогичным (1)–(3), если положить в них $d_d = 0$. Из полученных решений нетрудно заметить, что, с точки зрения высоты подъема масла на первой ступени, этот способ является более предпочтительным по сравнению с предыдущим.

На второй верхней ступени высота подъема масла из вращающегося маслоборника по неподвижным маслоъемным трубкам полного напора может быть определена по формуле

$$h = (1 - \zeta) \frac{\omega^2 R_2^2}{2g}, \quad (4)$$

где R_2 – расстояние отверстия маслоъемной трубки до оси вращения ($D_2 / 2$); ζ – коэффициент потерь давления в неподвижной маслоъемной трубке верхней ступени ($0 \leq \zeta \leq 1$), который зависит от конструкции маслоъемника и числа Рейнольдса.

Результаты предварительных лабораторных исследований. Для проверки теоретической модели, касающейся второй верхней ступени подъема масла, была изготовлена специальная установка, включающая вращающийся (с возможностью плавной регуляции скорости вра-

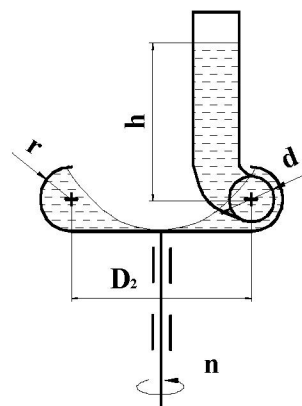
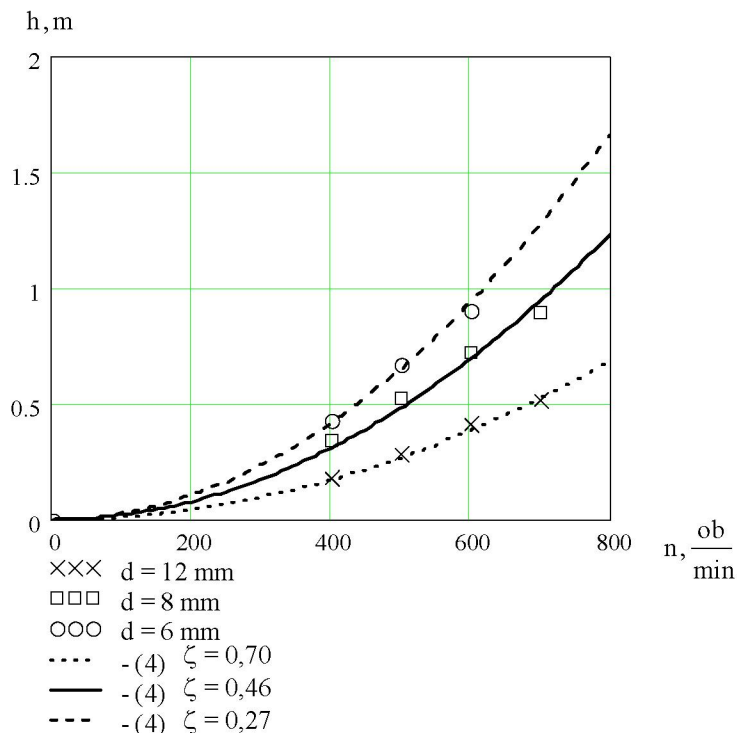


Рис. 3. Схема установки для исследования высоты подъема масла на верхней ступени

Рис. 4. Высота подъема масла VG46 на второй ступени в зависимости от скорости вращения маслоборника для трубок различного диаметра



щения) диск с перстнем. Ниже представлены основные параметры установки (рис. 3). Размеры перстня: $D_2 = 160$ мм; $r = 7,5$ мм. Диаметр входного отверстия маслоъемных трубок: $d = 6; 8$ и 12 мм. Рабочая жидкость: масло VG46 и VG220.

Маслоъемник в нижней части представлял собой медную трубку длиной 130 мм, к которой подсоединялись гибкие прозрачные трубки, позволявшие регистрировать высоту подъема масла. В опытах использовались медные трубки различного диаметра $d = 6; 8$ и 12 мм.

Скорость вращения диска изменялась от 400 до 900 об/мин. Нижняя граница интервала скоростей объясняется тем, что, во-первых, при низких оборотах (до 400 об/мин) была проблема с регистрацией низкой высоты подъема масла, которая не превышала длины отрезка медной трубки, а во-вторых, не достигалась еще необходимая для работы степень заполнения перстня маслом. Верхняя граница интервала объясняется прежде всего достижением уже при этой скорости вращения достаточно высокого для практического использования уровня подъема масла.

Проведенные опыты с разными марками масел позволили определить режимные параметры работы предложенной системы смазки, а также выявить влияние скорости вращения зубчатого

колеса, диаметра трубки полного напора и вязкости жидкости на величину коэффициента потерь давления. Наименьшие потери напора были зарегистрированы при работе с менее вязкими маслами типа VG46 и для маслоъемных трубок малого диаметра. Так, для трубок диаметром 6 мм коэффициент потери напора $z = 0,27$, а для трубок диаметром 12 мм – $z = 0,70$.

Сопоставление результатов экспериментов с теоретическим решением (4) представлено на рис. 4.

Эксперименты подтвердили высокую эффективность предлагаемого способа смазки зубчатых передач с вертикальным расположением осей валов и практическую пригодность предложенной математической модели. При этом безотказность предлагаемого способа гарантирована полным отсутствием в конструкции смазочной системы каких-либо кинематических пар.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lepiarczyk D., Mika M., Salwieski J. Konstrukcja i badanie ukladu smarujacego ioyyska z pionowym usytuowaniem osi. Z.N. Politechniki Opolskiej // Mechanika. N 271, z. 69. S. 129-136.
2. Rupeta W., Salwieski J., Duczycski S. Smarowanie ioyysk przekiadni zkbatych z wykorzystaniem energii kinetycznej oleju. Z.N. Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-

Biaiej. 2003. N 5, z.8. S. 175-180.

3. *Rupeta W., Salwicski J., Duczycki S.* Ukiad smarujacy przekiadnik z kbat № z pionowo usytuowanymi waiami. Z. N. Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Biaiej. 2003. N 5, z. 8. S. 169-174.

4. *Siemek J., Salwicski J., Rupeta W., Duczycki S.* Об одном способе смазки верхних подшипников зубчатой передачи // Горное оборудование и электромеханика. 2005. №4. С. 25-27.

5. *Siemek J., Salwicski J., Duczycki S., Lepiarczyk D.* Podnoszenie oleju w wirujacym cylindrze w aspekcie smarowania gurnych ioysk // AGH. Mechanics. 2005. Vol. 24, N 1. S. 29 –35.

Резюме

Біліктері тік орналасқан тісті берілістері ілініс пен жоғары ішпектерді майлаудың жаңа жүйелерін лабораториялық зерттеудің нәтижелері берілген. Майды тасымалдау екі кезеңде орындалады. Бірінші кезеңде майды дөңгелегімен қоса айналатын майжинағышқа көтереді, екінші кезеңде май-

ды ішпекті түйінге көтереді. Берілістің геометриялық және кинематикалық параметрлеріне байланысты майды көтеру биіктігін анықтайтын математикалық нобай ұсынылған. Лабораториялық зерттеулер майлаудың жаңа жүйесінің жұмысының тиімділігін көрсетті.

Summary

In the paper, it is shown the idea and the results of laboratory research for a new system lubricating the upper bearings and gear meshing in gear with vertically aligned shafts. Lifting the oil from the drip pan is achieved in two stages. In the first stage, the oil is lifted to a spinning container, and in the second – to the bearing nodes. Moreover, a mathematical model, allowing determination of the oil uplift as a function of geometric and kinematics parameters of the gear has been presented. Laboratory tests have proved effectiveness of the lubricating system, as well as the mathematical model accuracy.

AGH – Научно-технический университет, г. Краков

Поступила 15.10.06г.