

УДК 624.15

АНАЛИЗ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СОПРЯЖЁННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УПЛОТНЕНИЙ МЕЖКАТКОВЫХ КЛИНОВИДНЫХ ЗАЗОРОВ РАСКАТЫВАЮЩИХ ПРОХОДЧИКОВ СКВАЖИН

В. Лис

Германия, г. Mittlbiberach

Аннотация. В статье рассмотрена механика относительного перемещения сопряжённых элементов фланцевого типа уплотнений клиновидных межкатковых торцевых зазоров. Описана кинематика процесса взаимодействия элементов уплотнений сферического типа. Установлены законы относительных перемещений плоских и сферических поверхностей сопряжённых элементов сферического типа уплотнений многокатковых раскатывающих рабочих органов. Приведена траектория относительного перемещения плоских сопряжённых поверхностей сферического уплотнения.

Ключевые слова: межкатковый зазор, уплотнение фланцевое или сферическое, сопряжённые элементы, закон движения, траектория.

Введение

В процессе проектирования многокаткового раскатывающего рабочего органа конструктор – разработчик неизбежно сталкивается с необходимостью выбора системы уплотнений межкатковых зазоров. В настоящее время прослеживается тенденция предпочтения уплотнений фланцевого типа сферическим [1, 2, 3]. Такая ситуация имеет несколько причин: 1 – фланцевый тип уплотнений принято считать (обоснованно ли?) менее сложным для изготовления, чем сферический; 2 – фланцевый тип уплотнений разработан в ИГД СО АН СССР в г. Новосибирске в 70е годы [4] и отсюда постепенно распространился по научным и проектным организациям России, где и подвергался, если и в ограниченном объёме, дальнейшему совершенствованию, сферические же уплотнения были разработаны к концу 80х годов в г. Караганде (в соавторстве), и в период с 1990 до 2004 по этому типу уплотнений практически никакая работа не велась и возобновилась лишь к 2005 году этузиастами в Германии и Российской Федерации в форме дополнительного, от основной работы, занятия, на уровне теоретических исследований [5]; 3 – до настоящего времени не существует никакого сравнительного анализа уплотнений межкатковых зазоров позволяющего осуществить экономически обоснованный выбор того или иного типа [6].

Постановка задачи

Так как работа обоих типов уплотнений связана с трением уплотняющих элементов,

то очевидным является сравнение энергетических затрат на трение сопряжённых поверхностей, для чего необходимо установить законы их относительных движений, что и является предметом исследования настоящей работы.

Теоретические исследования Относительные перемещения сопряжённых элементов фланцевого уплотнения

Структурным анализом фланцевого уплотнения установлено, что в каждом межкатковом зазоре располагаются две пары сопряжённых поверхностей. Одной из поверхностей, в каждой сопряжённой паре, является торцевая поверхность одного из смежных катков, а другой - сопряжённая с ней плоскость фланца расположенного между этими катками и жёстко соединённого с валом раскатывающего рабочего органа (рис. 1). При вращении вала 2 с фланцем 4, катки J и (J+1) вращаются в противоположном направлении, смещаясь относительно фланца по поверхностям трения $\Pi_{тр}$.

На основании исследований проведённых ранее [5] угловая скорость произвольного катка выражается через угловую скорость вала следующей зависимостью:

$$\vec{\omega}_j^r = -\vec{\omega}^e \left(1 + \frac{e_{0j}}{r_{0j}} \right) \cos \gamma_j, \quad (1)$$

где $\vec{\omega}_j^r$ и $\vec{\omega}^e$ – векторы угловых скоростей j-го катка и вала раскатывающего рабочего органа соответственно; e_{0j} – минимальный эксцентриситет j-го катка (кратчайшее расстояние между осью j-го катка и осью

вала); r_{0j} – радиус основания j -го катка в плоскости минимального эксцентриситета; φ_j – угол скрещивания оси j -го катка с осью вала.

На основании выражения (1) получим зависимость угла поворота φ_j^r j-го катка от угла поворота φ^e вала рабочего органа:

$$\varphi_j^r = -\varphi^e \left(1 + \frac{e_{0j}}{r_{0j}} \right) \cos \gamma_j. \quad (2)$$

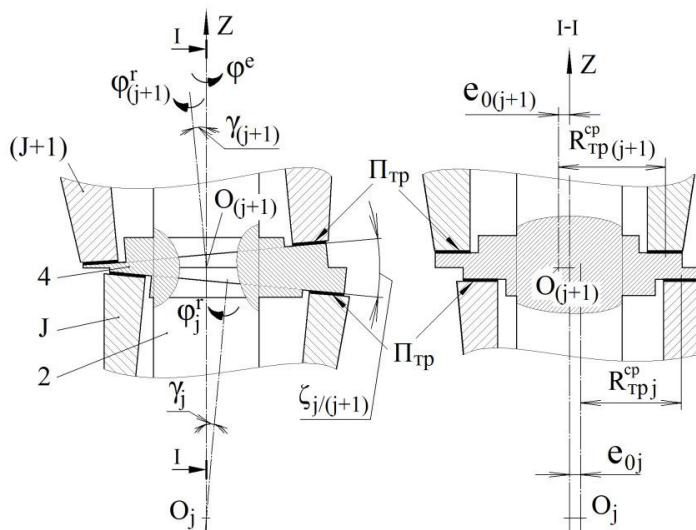


Рис. 1. Схема сопряжения трущихся поверхностей фланцевого торцевого уплотнения межкаткового клиновидного зазора: $j, (j+1)$ – смежная пара катков; 2 – вал; 4 – фланец

При повороте вала на угол $\varphi^e = 2\pi j$ -ый каток повернётся вокруг собственной оси на угол

$$\varphi_j^r = 2\pi \left(1 + \frac{e_{oj}}{r_{oj}} \right) \cos \gamma_j \quad \text{в}$$

противоположном направлении, откуда средняя длина пути трения S_{trj}^{cp} основания катка по контактной поверхности фланца определится произведением среднего радиуса трения R_{trj}^{cp} кольцевой поверхности сопряжённых плоскостей на угол поворота катка вокруг собственной оси:

$$S_{\text{tpj}}^{\text{cp}} = 2\pi R_{\text{tpj}}^{\text{cp}} \left(1 + \frac{e_{\text{oj}}}{r_{\text{oi}}}\right) \cos \gamma_j. \quad (3)$$

Кинематический анализ движения сопряжённых элементов сферического уплотнения

В результате структурного анализа сферического уплотнения установлено, что этот тип уплотнений включает, также как и фланцевый, две пары сопряжённых поверхностей. Однако на этом их общность и заканчивается. Роль фланца в сферическом уплотнении исполняет отделённый от вала кольцевой шаровый слой, именуемый сферическим кольцом, который сопряжён двумя своими поверхностями (большой плоской и сферической) с торцевыми поверхностями смежных катков (рис. 2).

Сферическое кольцо 5 совершает при этом два относительных перемещения одновременно, одно из них – перемещение плоской поверхности «п» сферического кольца 5 по сопряжённой с ней плоской торцевой поверхности «п» (j+1)-го катка, другое – перемещение выпуклой поверхности «с» того же кольца 5 по сопряжённой торцевой седельной поверхности «с» j-го катка.

Для определения суммарной длины пути трения сопряженных поверхностей сферического уплотнения за один оборот вала необходимо установить законы их относительных перемещений, для чего проведём кинематический анализ узла торцевого уплотнения произвольной сопряжённой пары катков. С этой целью сообщим рабочему органу такое дополнительное вращение вокруг оси $(j+1)$ -го катка рассматриваемой сопряжённой пары, чтобы $(j+1)$ -ый каток остановился, т.е. чтобы сумма векторов дополнительной $\vec{\omega}_{(j+1)}^A$ и относительной $\vec{\omega}_{(j+1)}^r$ угловых скоростей вращения этого катка вокруг его оси $Z_{(j+1)}$ (рис. 2) равнялась нулю [7]. Это условие можно записать в виде равенства:

$$\bar{\omega}_{(j+1)}^d + \bar{\omega}_{(j+1)}^r = 0, \quad (4)$$

откуда

$$\bar{\omega}_{(j+1)}^A = -\bar{\omega}_{(j+1)}^r = \bar{\omega}^e \left(1 + \frac{e_{0(j+1)}}{r_{0(j+1)}} \right) \cos \gamma_{(j+1)}. \quad (5)$$

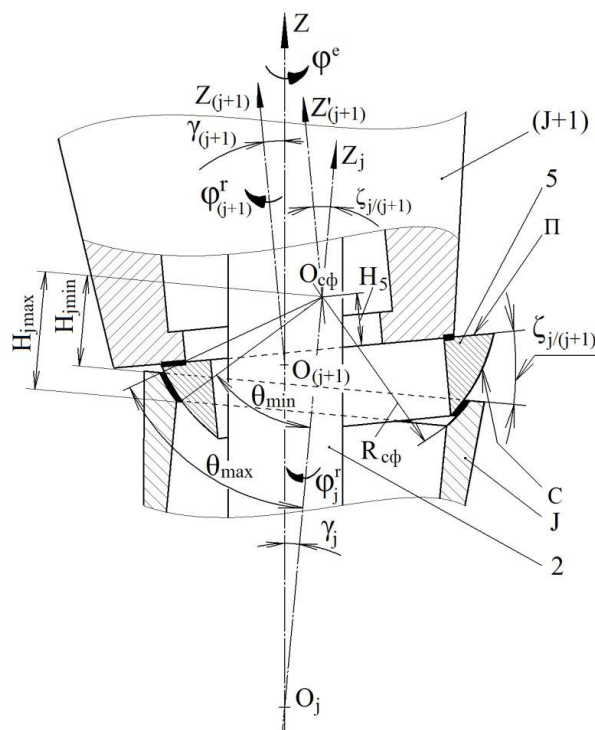


Рис. 2. Схема сопряжения трущихся поверхностей сферического торцевого уплотнения межкаткового клиновидного зазора: j, (j+1) – смежная пара катков; 2 – вал; 5 – сферическое кольцо. П, С – плоская и сферическая поверхности трения сферического кольца соответственно.

Таким образом дополнительная угловая скорость $\bar{\omega}_{(j+1)}^A$ равна по модулю и противоположна по направлению относительной угловой скорости (j+1)-го катка $\bar{\omega}_{(j+1)}^r$.

С такой же угловой скоростью $\bar{\omega}_{(j+1)}^A$ вращается вокруг оси $Z_{(j+1)}$ и вал раскатчика вместе с жёстко связанной с ним осью Z_j и вращающимся вокруг неё j-ым катком. Совместно с j-ым катком вращается и сферическое кольцо 5, центр сферы которого расположен на геометрической оси вращения (j)-го катка Z_j . Перпендикуляр, опущенный из центра сферы на контактную плоскость сферического кольца, параллелен оси вращения (j+1)-го катка $Z_{(j+1)}$, обозначается $Z'_{(j+1)}$ и является мгновенной осью вращения сферического кольца (рис. 2).

Сферическое кольцо 5 совершает, вследствие сообщения рассматриваемой сопряжённой паре катков дополнительной угловой скорости $\bar{\omega}_{(j+1)}^A$ вокруг оси $Z_{(j+1)}$,

сложное вращательное движение относительно скрещивающихся осей Z_j и $Z_{(j+1)}$. Это движение можно представить как переносное движение вокруг оси $Z_{(j+1)}$ с угловой скоростью $\bar{\omega}_{(j+1)}^A$, и относительное, с угловой скоростью $\bar{\omega}_5^{Z'_{(j+1)}}$, вокруг мгновенной оси вращения сферического кольца $Z'_{(j+1)}$, проходящей через центр сферы перпендикулярно плоскости контакта, т.е. параллельно оси $Z_{(j+1)}$ (рис. 3). Угловая скорость $\bar{\omega}_5^{Z'_{(j+1)}}$ представляет собой проекцию вектора угловой скорости j-го катка $\bar{\omega}_j^r$ на ось $Z'_{(j+1)}$ и определяется следующим выражением:

$$\bar{\omega}_5^{Z'_{(j+1)}} = \bar{\omega}_j^r \cos \zeta_{j/(j+1)} = -\bar{\omega}^e \left(1 + \frac{e_{0j}}{r_{0j}} \right) \cos \gamma_j \cos \zeta_{j/(j+1)}, \quad (6)$$

где $\zeta_{j/(j+1)}$ – угол скрещивания осей вращения j-го и (j+1)-го катков, который зависит от углов γ_j и $\gamma_{(j+1)}$ разворота осей вращения рассматриваемых катков относительно оси вала и углов α_j и $\alpha_{(j+1)}$ между осью абсцисс системы координат вала раскатывающего рабочего органа и проекциями осей абсцисс систем координат соответствующих катков на плоскость XOY вала рабочего органа, и определяется выражением:

$$\cos \zeta_{j/(j+1)} = \sin \gamma_j \sin \gamma_{(j+1)} \cos(\alpha_{(j+1)} - \alpha_j) + \cos \gamma_j \cos \gamma_{(j+1)}. \quad (7)$$

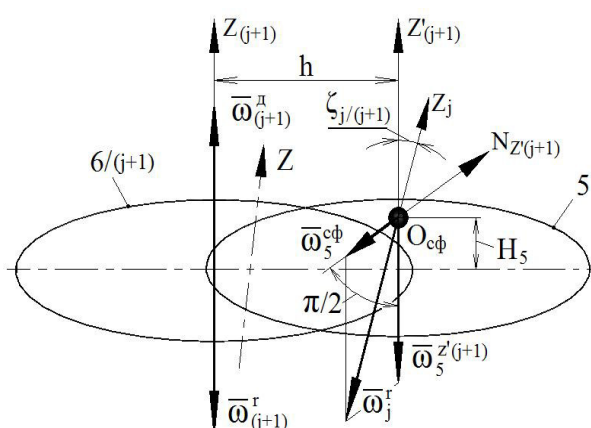


Рис. 3. Схема угловых скоростей вращения сферического кольца 5 – кольцо сферическое; 6/(j+1) – кольцо прижимное / (торцевая контактная поверхность (j+1)-го катка)

Нормально к вектору угловой скорости $\bar{\omega}_5^{Z'(j+1)}$, проходит проекция вектора угловой скорости j -го катка $\bar{\omega}_j^r$ на плоскость параллельную контактной плоскости трения сопряженных колец. Данная угловая скорость представляет собой скорость вращения сферического кольца 5 в седле j -го катка (см. рисунок 2) вокруг мгновенной оси поворота $N_{Z'(j+1)}$, которая расположена в плоскости образуемой осями Z_j и $Z'_{(j+1)}$ и проходит через центр сферы. Эта угловая скорость обозначена как $\bar{\omega}_5^{c\phi}$, а её величина определяется выражением:

$$\bar{\omega}_5^{c\phi} = \bar{\omega}_j^r \sin \zeta_{j/(j+1)} = -\bar{\omega}^e \left(1 + \frac{e_{0j}}{r_{0j}}\right) \cos \gamma_j \sin \zeta_{j/(j+1)}. \quad (8)$$

Введя подстановки типа $\left(1 + \frac{e_{0j}}{r_{0j}}\right) \cos \gamma_j = k_j$ и $\left(1 + \frac{e_{0(j+1)}}{r_{0(j+1)}}\right) \cos \gamma_{(j+1)} = k_{(j+1)}$, выражения для угловых скоростей примут вид:

$$\bar{\omega}_{(j+1)}^A = -\bar{\omega}_{(j+1)}^r = \bar{\omega}^e k_{(j+1)}, \quad (9)$$

$$\bar{\omega}_5^{Z'(j+1)} = \bar{\omega}_j^r \cos \zeta_{j/(j+1)} = -\bar{\omega}^e k_j \cos \zeta_{j/(j+1)}, \quad (10)$$

$$\bar{\omega}_5^{c\phi} = \bar{\omega}_j^r \sin \zeta_{j/(j+1)} = -\bar{\omega}^e k_j \sin \zeta_{j/(j+1)}. \quad (11)$$

Относительные перемещения плоских поверхностей сферических уплотнений

Перемещение произвольной точки M_5 плоской поверхности сферического кольца 5 по сопряженной поверхности прижимного

кольца $6/(j+1)$ за один оборот вала раскатывающего рабочего органа описывается уравнениями движения этой точки в плоской неподвижной системе координат $X_6 Z_{(j+1)} Y_6$ (рис. 4), расположенной в плоскости контакта сопряженных колец.

Координаты произвольной точки M_5 записываются в виде:

$$X_{M_5} = h \cos \varphi^A + R_{M_5} \cos (\varphi^A - \varphi_5^{Z'(j+1)}), \quad (12)$$

$$Y_{M_5} = h \sin \varphi^A + R_{M_5} \sin (\varphi^A - \varphi_5^{Z'(j+1)}), \quad (13)$$

где R_{M_5} – радиус плоской контактной поверхности сферического кольца 5; φ^A – угол поворота сферического кольца 5 в переносном движении вокруг оси вращения $Z_{(j+1)}$ вследствие дополнительного вращения рассматриваемой системы с угловой скоростью $\bar{\omega}_{(j+1)}^A$; $\varphi_5^{Z'(j+1)}$ – угол поворота сферического кольца 5 в относительном движении вокруг мгновенной оси вращения $Z'_{(j+1)}$ с угловой скоростью $\bar{\omega}_5^{Z'(j+1)}$; h – расстояние между мгновенной осью вращения сферического кольца $Z'_{(j+1)}$ и осью вращения $(j+1)$ -го катка $Z_{(j+1)}$.

Расстояние между осями $Z'_{(j+1)}$ и $Z_{(j+1)}$ представляет собой расстояние от центра сферы $O_{сфj}$ до оси вращения $(j+1)$ -го катка $Z_{(j+1)}$ и определяется следующим выражением [8]:

$$h = \sqrt{\left\{ \begin{aligned} & \left[e_{0j} \sin \alpha_j + z_{сфj} \sin \gamma_j \cos \alpha_j - e_{0(j+1)} \sin \alpha_{(j+1)} \right] \cos \gamma_{(j+1)} \\ & - \left[Z_{0j} + z_{сфj} \cos \gamma_j - Z_{0(j+1)} \right] \sin \gamma_{(j+1)} \cos \alpha_{(j+1)} \end{aligned} \right\}^2 + \left\{ \begin{aligned} & \left[e_{0j} \cos \alpha_j - z_{сфj} \sin \gamma_j \sin \alpha_j - e_{0(j+1)} \cos \alpha_{(j+1)} \right] \cos \gamma_{(j+1)} \\ & + \left[Z_{0j} + z_{сфj} \cos \gamma_j - Z_{0(j+1)} \right] \sin \gamma_{(j+1)} \sin \alpha_{(j+1)} \end{aligned} \right\}^2 + \left\{ \begin{aligned} & \left[e_{0j} \cos \alpha_j - z_{сфj} \sin \gamma_j \sin \alpha_j - e_{0(j+1)} \cos \alpha_{(j+1)} \right] \sin \gamma_{(j+1)} \cos \alpha_{(j+1)} \\ & + \left[e_{0j} \sin \alpha_j + z_{сфj} \sin \gamma_j \cos \alpha_j - e_{0(j+1)} \sin \alpha_{(j+1)} \right] \sin \gamma_{(j+1)} \sin \alpha_{(j+1)} \end{aligned} \right\}^2}. \quad (14)$$

где e_0 – минимальный эксцентриситет j -го или $(j+1)$ -го катка соответственно; $z_{сфj}$ – расстояние между горловым сечением j -го катка и центром сферы седельной поверхности; Z_0 – расстояние между началом систем координат j -го или соответственно $(j+1)$ -го катка и плоскостью XOY основания

системы координат раскатывающего проходчика скважин $OXYZ$; α – угол между осью X системы координат $OXYZ$ и проекцией минимального эксцентриситета j -го или $(j+1)$ -го катка на плоскость XOY ; γ – угол разворота оси вращения j -го или $(j+1)$ -го катка относительно оси рабочего органа Z .

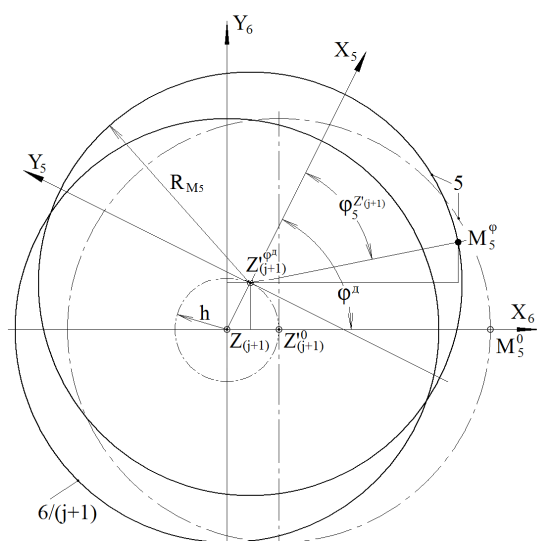


Рис. 4. Схема взаимного расположения сопряженных колец сферического уплотнения для описания закона движения точки M_5 по кольцу 6/(j+1) 5 – кольцо сферическое; 6/(j+1) – кольцо прижимное / (торцевая контактная поверхность (j+1)-го катка)

На основании равенств (9), (10) и (11) запишем выражения для углов поворота элементов сферического уплотнения через угол поворота вала φ^e .

$$\varphi^L = \varphi^e k_{(j+1)}, \quad (15)$$

$$\varphi_5^{Z(j+1)} = -\varphi^e k_j \cos \zeta_{j/(j+1)}, \quad (16)$$

$$\varphi_5^{c\phi} = -\varphi^e k_j \sin \zeta_{j/(j+1)}. \quad (17)$$

Подставив выражения (15) и (16) в уравнения (12) и (13) получим:

$$X_{M_5} = h \cos(k_{(j+1)} \varphi^e) + R_{M_5} \cos[(k_{(j+1)} - k_j \cos \zeta_{j/(j+1)}) \varphi^e], \quad (18)$$

$$Y_{M_5} = h \sin(k_{(j+1)} \varphi^e) + R_{M_5} \sin[(k_{(j+1)} - k_j \cos \zeta_{j/(j+1)}) \varphi^e], \quad (19)$$

Уравнениями (18) и (19) описывается траектория точки M_5 при её движении по основанию прижимного кольца 6 (основание (j+1)-го катка). Эта траектория имеет вид гипотрохиды и представлена на рисунке 5. Путь, преодолеваемый точкой M_5 за один оборот вала, выделен жирной линией, расположенной в пределах угла поворота вала $0^\circ \leq \varphi^e \leq 360^\circ$.

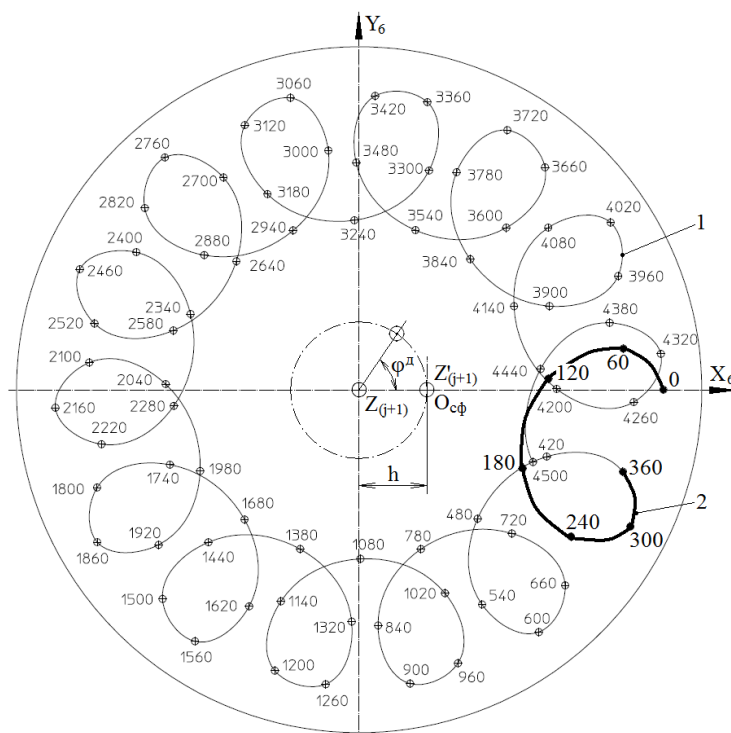


Рис. 5. Траектория относительного движения плоских сопряженных поверхностей сферического уплотнения: 1 – траектория движения произвольной точки M_5 сферического кольца 5 по сопряженной торцевой поверхности (j+1)-го катка (прижимного кольца 6/(j+1)); 2 - путь преодолеваемый точкой M_5 за 1 оборот вала, $\varphi^e = 360^\circ$. Координатная плоскость X_6Y_6 расположена в плоскости контакта уплотняющих колец; $Z_{(j+1)}$ - ось вращения (j+1)-го катка; $Z_{(j+1)}^0$ - мгновенная ось вращения сферического кольца 5; O_{cf} - центр сферы; φ^L - дополнительный угол поворота вала раскатчика и (j)-го катка со сферическим кольцом 5 вокруг оси вращения (j+1)-го катка; h - расстояние между центром сферы и осью $Z_{(j+1)}$; цифры «0 – 4500» – угол поворота вала φ^e .

Длина рассматриваемой криволинейной дуги определяется интегралом:

$$S_{M_5}^{пл} = \int_0^{2\pi} \sqrt{(X'_{M_5})^2 + (Y'_{M_5})^2} d\varphi^e, \quad (20)$$

где X'_{M_5} и Y'_{M_5} – производные от координат точки M_5 по параметру φ^e .

$$S_{M_5}^{пл} = \int_0^{2\pi} \sqrt{h^2(k_{(j+1)})^2 + (R_{M_5})^2(k_{(j+1)} - k_j \cos \zeta_{j/(j+1)})^2 + 2hk_{(j+1)}R_{M_5}(k_{(j+1)} - k_j \cos \zeta_{j/(j+1)}) \cos[(k_j \cos \zeta_{j/(j+1)})\varphi^e]} d\varphi^e. \quad (21)$$

Относительные перемещения сферических поверхностей уплотнений

Непрерывность контакта плоских поверхностей сопряжённых колец сферического уплотнения обеспечивается постоянным поворотом сферического кольца 5 в седле j-го катка вокруг мгновенной оси поворота $N_{Z'_{(j+1)}}$, расположенной в плоскости образованной осями Z_j и $Z'_{(j+1)}$ и проходящей через центр сферы перпендикулярно к оси $Z'_{(j+1)}$ (см. рис. 3).

Для определения длины пути преодолеваемого произвольной точкой $C_5^{сф}$ выпуклой поверхности сферического кольца 5 по вогнутой поверхности седла j-го катка запишем выражение для определения линейной скорости этой точки в следующем виде:

$$V_5^{сф} = \omega_5^{сф} R_{сф} = -\omega^e k_j \sin \zeta_{j/(j+1)} R_{сф}, \quad (22)$$

где $R_{сф}$ – радиус сферы сферического кольца. Представим (22) в виде:

$$\frac{dS_{C_5}^{сф}}{dt} = -\frac{d\varphi^e}{dt} k_j \sin \zeta_{j/(j+1)} R_{сф}, \quad (23)$$

откуда получаем длину искомого пути:

$$S_{C_5}^{сф} = -k_j \sin \zeta_{j/(j+1)} R_{сф} \int_0^{2\pi} d\varphi^e = -2\pi k_j \sin \zeta_{j/(j+1)} R_{сф}. \quad (24)$$

Знак (–) в равенстве (24) можно отбросить, т.к. длина пути не зависит от направления движения и тогда окончательно имеем:

$$S_{C_5}^{сф} = 2\pi k_j \sin \zeta_{j/(j+1)} R_{сф}. \quad (25)$$

Заключение

Впервые описана кинематика перемещения сопряжённых элементов сферических уплотнений клиновидных межкатковых зазоров многокатковых раскатывающих рабочих органов, что позволяет провести сравнительный анализ энергетических затрат на преодоление сил трения между сопряжёнными поверхностями во фланцевых и сферических уплотнениях.

После дифференцирования и проведения несложных математических операций получим окончательное выражение для определения искомой длины дуги, которое имеет вид:

Библиографический список

1. Пат. №1764518: Устройство для образования скважин в грунте / Л.М. Бобылев, А.Л. Бобылев и В.К. Свирщевский. – № 4828433/03; заявл. 28.05.1990; опубл. 23.09.1992 Бюл. № 35
2. Пат. № 2383687: Раскатчик для образования скважин в грунте / А. Л. Бобылев, Л. М. Бобылев, А. И. Доценко, Г. К. Прохоренко. – № 2008144922/03; заявл. 14.11.2008; опубл. 10.03.2010. Бюл. № 7.
3. Пат. № 2447235: Раскатчик для устройства набивных свай / А. Л. Бобылев, А. И. Доценко. – № 2010126722/03; заявл. 30.06.2010. опубл. 10.04.2012 Бюл. №10.
4. Свирщевский, В. К. Проходка скважин в грунте способом раскатки / В. К. Свирщевский. – Новосибирск: Наука. – 1982. – 121 с.
5. Лис, В. Разработка конструкции и обоснование основных параметров раскатывающего рабочего органа для проходки скважин в грунте: дис. ... канд. техн. наук: код специальности 05.05.04, защищена 24.03.2005, утв. 10.06.2005; науч. рук. док. техн. наук Пономаренко Ю.Е. / В. Лис; СибАДИ – Омск. – 2005. – 182 с.
6. Лис В., Объективные факторы, сдерживающие внедрение метода уплотнения грунта раскатыванием / В. Лис, Ю.Е. Пономаренко, М. Лис // Строительные и дорожные машины. – 2011. – №1. – С. 20-24.
7. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики: учебник для вузов / С. М. Тарг. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1986. – 416 с.
8. Беклемишев, Д. В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры: учебник для вузов / Д. В. Беклемишев. – 6-е изд. стер. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 320 с.

THE ANALYSIS OF RELATIVE MOVEMENTS OF CONSOLIDATIONS' MATING ELEMENTS OF THE INTERROLLER WEDGE-SHAPED GAPS ROLLING TUNNELERS OF WELLS

V. Lis

Abstract. The article dwells on the mechanics of relative movement of mating elements of flanged type's consolidations of wedge-shaped interroller end clearances. There is considered kinematics of

interaction process of consolidations' elements of spherical type. There are established the laws of relative movements of flat and spherical surfaces of mating elements of spherical type's consolidations of multiroller rolling operating devices. There is presented a trajectory of relative movement of the flat mating surfaces of spherical consolidation.

Keywords: interoller gap, flanged or spherical consolidation, mating elements, law of movement, a trajectory.

References

1. Bobylev L. M., Bobylev A. L., Svirshhevskij V. K. *Raskatchik dlja ustrojstva nabivnyh svaj* [Roller for arranging grouted piles]. Patent RF, no 1764518, 1992.
2. Bobylev A. L., Bobylev L. M., Docenko A. I., Prohorenko G. K. *Raskatchik dlja obrazovaniya skvazhin v grunte* [Roller for forming wells in soil]. Patent RF, no 2383687, 2010.
3. Lis V., Ponomarenko Y. E., Lis M. Obektivnye faktory, sderzhivajushhie vnedrenie metoda uplotneniya grunta raskatyvaniem [The objective factors constraining the introduction of soil consolidation's method using rolling]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2011, no 1. pp. 20-24.
4. Svirshhevskij V. K. *Prohodka skvazhin v grunte sposobom raskatki* [Advancing wells in soil using rolling]. Novosibirsk, Nauka, 1982. 121 p.

5. Lis V. *Razrabotka konstrukcii i obosnovanie osnovnyh parametrov raskatyvajushhego rabocheho organa dlja prohodki skvazhin v grunte: dis. kand. tehn. nauk* [Development of a construction and justification of main parameters of a rolling operating device for advancing wells in soil: dis. cand. tech. science]. Omsk, 2005. 182 p.

6. Lis V., Ponomarenko Y. E., Lis M. Objective factors constraining introduction of a method of consolidation of soil a raskatyvaniye [The objective factors constraining introduction of a method of soil consolidation using rolling]. *Construction and road cars*, no. 1. pp. 20-24.

7. Targ S. M. *Kratkij kurs teoreticheskoj mehaniki: uchebnik dlja vtuzov* [Brief course of theoretical mechanics: textbook for technical universities]. Moscow, Vysshaja shkola, 1986. 416 p.

8. Beklemishev D. V. *Kurs analiticheskoj geometrii i linejnoj alpebry: uchebnik dlja vuzov* [Course of analytical geometry and linear algebra: textbook for higher education institutions]. Moscow, Nauka, 1987. 320 p.

Лис Виктор (Германия, Mittelbiberach) – кандидат технических наук (88441, Mittelbiberach, Germany, e-mail: vidalis@kabelbw. de)

Lis Victor (Germany, Mittel) - candidate of technical sciences (88441, Mittelbiberach, Germany, e-mail: vidalis@kabelbw. de)

УДК 629.4.015

РЕССОРНОЕ ПОДВЕШИВАНИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Ю. Ф. Савельев, В. Я. Шевченко, Н. Ю. Симак

Омский государственный университет путей сообщений (ОмГУПС), Россия, г. Омск

Аннотация. В работе представлены обобщающие результаты исследований состояния современно-типового рессорного подвешивания железнодорожных экипажей. На основании опыта эксплуатации отечественного и зарубежного подвижного состава сделан вывод о необходимости модернизации его рессорного подвешивания в современных условиях. Предложены новые принципиальные конструктивные схемы виброзащитных устройств для различных типов подвижного состава.

Ключевые слова: подвижной состав, виброзащита, рессорное подвешивание, модернизация, конструкции.

Введение

Конструкция рессорного подвешивания типового подвижного состава в настоящее время не обеспечивает полную безопасность движения, особенно при коммерческих требованиях увеличения скорости доставки грузов. Этот недостаток присущ всем типовым конструкциям и не зависит от проектировщиков. Причины неэффективности

типового рессорного подвешивания в основном связаны с невозможностью получить достаточно мягкое подвешивание, обеспечивающее заданные габариты и несущую способность. Проблему не решает двухъярусное, и даже трехъярусное подвешивание подвижного состава. В современных условиях к подвешиванию предъявляются следующие основные