

УДК 621.225.001.4

**А.И. ПАНЧЕНКО**, д-р техн. наук; проф. ТГАТУ, Мелитополь;  
**А.А. ВОЛОШИНА**, канд. техн. наук; доц. ТГАТУ, Мелитополь;  
**И.А. ПАНЧЕНКО**, аспирант ТГАТУ, Мелитополь

## МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫТЕСНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ГИДРОВРАЩАТЕЛЕЙ ПЛАНЕТАРНОГО ТИПА

Предложена методика определения геометрических параметров элементов вытеснительной системы, позволяющая определить количественную характеристику изменения зазоров между зубьями вытеснителей гидравлического вращателя планетарного типа на основании изменения геометрических параметров элементов его вытеснительной системы.

**Ключевые слова:** методика проектирования, гидравлический вращатель планетарного типа, вытеснительная система, крышка, направляющая, рабочая камера, зазор, межцентровое расстояние.

### Постановка проблемы

Анализ кинематики движения вытеснительных элементов гидровращателей планетарного типа (шестерни и направляющей) при распределении потоков рабочей жидкости в рабочие камеры гидровращателя, позволил обосновать, что качественная работа вытеснительной системы определяется величиной зазоров между зубьями вытеснителей, образующими рабочие камеры. Поэтому, при проектировании элементов вытеснительной системы гидровращателей планетарного типа большое значение имеет определение рациональных значений зазоров (определяющихся геометрическими параметрами самих вытеснителей – шестерни и направляющей). В этой связи разработка методики определения геометрических параметров элементов вытеснительной системы гидровращателя планетарного типа является одной из важнейших задач при проектировании гидровращателей.

### Анализ последних исследований

Исследования причин неудовлетворительной работы гидровращателей планетарного типа [1–4], обусловленных несовершенством конструкции формы элементов вытеснительной системы позволили выявить, что вытеснительная система лимитирует их эффективную работу.

Таким образом, при проектировании высокомоментного гидровращателя планетарного типа необходимо определить геометрические параметры элементов вытеснительной системы с целью улучшения заполнения рабочих камер, образованных вытеснителями, рабочей жидкостью.

**Цель статьи** – улучшение заполнения рабочих камер гидровращателя планетарного типа путем разработки методики определения геометрических параметров элементов его вытеснительной системы.

### Основная часть

Для определения зазоров между зубьями шестерни и направляющей вытеснительной системы разработана методика определения межцентровых расстояний  $M_i$  между центрами зубьев  $O_{н_i}$  направляющей и  $O_{ш_i}$  шестерни.

1) Определим межцентровые расстояния  $M_i$  между центрами зубьев  $O_{н_i}$  направляющей и  $O_{ш_i}$  шестерни в первой четверти (рис. 1) при условии:

$$0 \leq \gamma_{нi} \leq \frac{\pi}{2}; \quad 0 \leq \gamma_{шi} \leq \frac{\pi}{2}.$$

Расстояние между центром зуба направляющей  $O_{нi}$  и центром зуба шестерни  $O_{шi}$  обозначим  $M_i$ :  $M_i = O_{нi}O_{шi}$ .

Из  $\Delta O_{нi}O_{шi}E_i$  межцентровое расстояние  $M_i$  равно:

$$M_i = \sqrt{(O_{шi}E_i)^2 + (O_{нi}E_i)^2}.$$

Обозначим  $O_{шi}E_i = A_i$  и  $O_{нi}E_i = B_i$ , тогда  $M_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}$ .

Если след центра зуба  $O_{нi}$  направляющей на оси  $OO'$  расположен выше следа центра зуба  $O_{шi}$  шестерни (рис. 1), то  $A_i = O_{шi}E_i = A_iB_i = O_1A_i - O_1B_i$ , где  $O_1A_i = R_n \cdot \cos \gamma_{нi}$ ;  $O_1B_i = O_2B_i + O_1O_2$ .

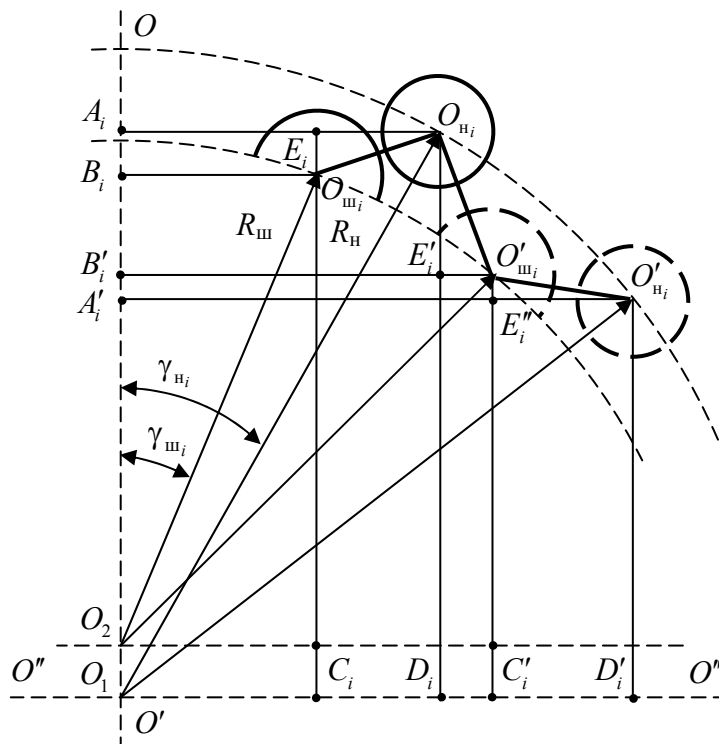


Рис. 1 – Схема определения межцентрового расстояния в первой четверти

Из  $\Delta O_2O_{шi}B_i$ :  $O_2B_i = R_{ш} \cdot \cos \gamma_{шi}$ ,  $O_1O_2 = e$ ,  $O_1B_i = R_{ш} \cdot \cos \gamma_{шi} + e$ .

Тогда

$$A_i = R_n \cdot \cos \gamma_{нi} - R_{ш} \cdot \cos \gamma_{шi} - e. \quad (1)$$

Если след центра  $O_{нi}$  зуба направляющей на оси  $O''O'''$  расположен правее следа центра  $O_{шi}$  зуба шестерни (рис. 1), то  $B_i = O_{нi}E_i = O_1D_i - O_1C_i$ , где

$O_1D_i = R_n \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma_{нi}\right)$ , так как  $\cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma_{нi}\right) = \sin \gamma_{нi}$ , то  $O_1D_i = R_n \cdot \sin \gamma_{нi}$ ;

$O_1C_i = O_2C_i = R_{ш} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma_{шi}\right)$ , т.к.  $\cos\left(\frac{\pi}{2} - \gamma_{шi}\right) = \sin \gamma_{шi}$ , то  $O_1C_i = R_{ш} \cdot \sin \gamma_{шi}$ .

Тогда

$$B_i = R_n \cdot \sin \gamma_{n_i} - R_w \cdot \sin \gamma_{w_i}, \quad (2)$$

а межцентровое расстояние  $M_i$  будет равно

$$M_i = \sqrt{[R_n \cdot \cos \gamma_{n_i} - R_w \cdot \cos \gamma_{w_i} - e]^2 + [R_n \cdot \sin \gamma_{n_i} - R_w \cdot \sin \gamma_{w_i}]^2}, \quad (3)$$

где  $\gamma_{w_i}$  – текущий угол расположения зуба шестерни относительно оси  $OO'$ ,

$\gamma_{w_i} = \frac{2\pi}{Z_w}(i-1) + \frac{\pi}{Z_w}$ ;  $\gamma_{n_i}$  – текущий угол расположения зуба направляющей

относительно оси  $OO'$ ,  $\gamma_{n_i} = \frac{2\pi}{Z_n}(i-1)$ .

Расстояние между центром зуба направляющей  $O_{n_i}$  и центром зуба шестерни  $O'_{w_i}$  обозначим  $M'_i$ :

$$M'_i = O_{n_i} O'_{w_i}.$$

Из  $\Delta O_{n_i} O'_{w_i} E'_i$  межцентровое расстояние  $M'_i$  равно  $M'_i = \sqrt{(O_{n_i} E'_i)^2 + (O'_{w_i} E'_i)^2}$ .

Обозначим  $A'_i = O_{n_i} E'_i$  и  $B'_i = O'_{w_i} E'_i$ . Тогда  $M'_i = \sqrt{A_i'^2 + B_i'^2}$ .

Так как, след центра зуба  $O_{n_i}$  направляющей на оси  $OO'$  расположен выше следа центра зуба  $O'_{w_i}$  шестерни (рис. 1), то  $A'_i$  определяется из выражения (1).

Если след центра  $O_{n_i}$  зуба направляющей на оси  $O''O'''$  расположен левее следа центра  $O_{w_i}$  зуба шестерни (рис. 1), то  $B'_i = O'_{w_i} E'_i = O_1 C'_i - O_1 D_i$ , где  $O_1 C'_i = O_2 C'_i = R_w \cdot \sin \gamma_{w_i}$ ;  $O_1 D_i = R_n \cdot \sin \gamma_{n_i}$ .

Тогда

$$B'_i = R_w \cdot \sin \gamma_{w_i} - R_n \cdot \sin \gamma_{n_i}, \quad (4)$$

а межцентровое расстояние  $M'_i$  будет равно

$$M'_i = \sqrt{[R_n \cdot \cos \gamma_{n_i} - R_w \cdot \cos \gamma_{w_i} - e]^2 + [R_w \cdot \sin \gamma_{w_i} - R_n \cdot \sin \gamma_{n_i}]^2}. \quad (5)$$

Расстояние между центром зуба направляющей  $O'_{n_i}$  и центром зуба шестерни  $O'_{w_i}$  обозначим  $M''_i$ :

$$M''_i = O'_{n_i} O'_{w_i}.$$

Из  $\Delta O'_{n_i} O'_{w_i} E''_i$  межцентровое расстояние  $M''_i$  равно  $M''_i = \sqrt{(O'_{w_i} E''_i)^2 + (O'_{n_i} E''_i)^2}$ .

Обозначим  $A''_i = O'_{n_i} E''_i$  и  $B''_i = O'_{w_i} E''_i$ . Тогда  $M''_i = \sqrt{A_i''^2 + B_i''^2}$ .

Если след центра зуба  $O'_{n_i}$  направляющей на оси  $OO'$  расположен ниже следа центра зуба  $O'_{w_i}$  шестерни (рис. 1), то  $A''_i = O'_{n_i} E''_i = O_1 B'_i - O_1 A'_i$ , где  $O_1 B'_i = O_2 B' + e = R_w \cdot \cos \gamma_{w_i} + e$ ;  $O_1 A'_i = R_n \cdot \cos \gamma_{n_i}$ .

Тогда

$$A''_i = R_w \cdot \cos \gamma_{w_i} + e - R_n \cdot \cos \gamma_{n_i}. \quad (6)$$

Так как, след центра  $O'_{n_i}$  зуба направляющей на оси  $O''O'''$  расположен правее следа центра  $O'_{w_i}$  зуба шестерни (рис. 1), то  $B''_i$  определяется из выражения (2), а

межцентровое расстояние  $M_i''$  будет равно

$$M_i = \sqrt{[R_{\text{ш}} \cdot \cos \gamma_{\text{ш}_i} + e - R_{\text{н}} \cdot \cos \gamma_{\text{н}_i}]^2 + [R_{\text{н}} \cdot \sin \gamma_{\text{н}_i} - R_{\text{ш}} \cdot \sin \gamma_{\text{ш}_i}]^2}. \quad (7)$$

2) Определим межцентровые расстояния  $M_i$  между центрами зубьев  $O_{\text{н}_i}$  направляющей и  $O_{\text{ш}_i}$  шестерни во второй четверти (рис. 2) при условии  $\frac{\pi}{2} < \gamma_{\text{н}_i} \leq \pi$ ;  
 $\frac{\pi}{2} < \gamma_{\text{ш}_i} \leq \pi$ .

Расстояние между центром зуба направляющей  $O_{\text{н}_i}$  и центром зуба шестерни  $O_{\text{ш}_i}$  обозначим  $M_i$ :

$$M_i = O_{\text{н}_i} O_{\text{ш}_i}.$$

Из  $\Delta O_{\text{н}_i} O_{\text{ш}_i} E_i$  межцентровое расстояние  $M_i$  равно  $M_i = \sqrt{(O_{\text{ш}_i} E_i)^2 + (O_{\text{н}_i} E_i)^2}$ .

Обозначим  $O_{\text{ш}_i} E_i = A_i$  и  $O_{\text{н}_i} E_i = B_i$ , тогда  $M_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}$ .

Если след центра зуба  $O_{\text{н}_i}$  направляющей на оси  $OO'$  расположен ниже следа центра зуба  $O_{\text{ш}_i}$  шестерни (рис. 2), то  $A_i = O_{\text{ш}_i} E_i = A_i B_i = O_1 A_i - O_1 B_i$ , где  $O_1 A_i = R_{\text{н}} \cdot \cos \gamma'_{\text{н}_i}$ ;  $O_1 B_i = O_2 B_i - O_1 O_2$ .

Из  $\Delta O_2 O_{\text{ш}_i} B_i$ :  $O_2 B_i = R_{\text{ш}} \cdot \cos \gamma'_{\text{ш}_i}$ ,  $O_1 O_2 = e$ ,  $O_1 B_i = R_{\text{ш}} \cdot \cos \gamma'_{\text{ш}_i} - e$ .

Тогда

$$A_i = R_{\text{н}} \cdot \cos \gamma'_{\text{н}_i} - R_{\text{ш}} \cdot \cos \gamma'_{\text{ш}_i} + e, \quad (8)$$

где  $\gamma'_{\text{н}_i} = \pi - \gamma_{\text{н}_i}$ ,  $\gamma'_{\text{ш}_i} = \pi - \gamma_{\text{ш}_i}$  – при расположении центров зубьев направляющей и шестерни во второй четверти.

Если след центра  $O_{\text{н}_i}$  зуба направляющей на оси  $O''O'''$  расположен правее следа центра  $O_{\text{ш}_i}$  зуба шестерни (рис. 2), то  $B_i = O_{\text{н}_i} E_i = O_1 D_i - O_1 C_i$ , где  $O_1 D_i = R_{\text{н}} \cdot \cos \gamma''_{\text{н}_i}$ ;  $O_1 C_i = O_2 C_i = R_{\text{ш}} \cdot \cos \gamma''_{\text{ш}_i}$ .

Тогда

$$B_i = R_{\text{н}} \cdot \cos \gamma''_{\text{н}_i} - R_{\text{ш}} \cdot \cos \gamma''_{\text{ш}_i}, \quad (9)$$

где  $\gamma''_{\text{н}_i} = \gamma_{\text{н}_i} - \frac{\pi}{2}$ ;  $\gamma''_{\text{ш}_i} = \gamma_{\text{ш}_i} - \frac{\pi}{2}$  – при расположении центров зубьев направляющей и шестерни во второй четверти.

Межцентровое расстояние  $M_i$  будет равно

$$M_i = \sqrt{[R_{\text{н}} \cdot \cos \gamma'_{\text{н}_i} - R_{\text{ш}} \cdot \cos \gamma'_{\text{ш}_i} + e]^2 + [R_{\text{н}} \cdot \cos \gamma''_{\text{н}_i} - R_{\text{ш}} \cdot \cos \gamma''_{\text{ш}_i}]^2}. \quad (10)$$

Расстояние между центром зуба направляющей  $O_{\text{н}_i}$  и центром зуба шестерни  $O'_{\text{ш}_i}$  обозначим  $M'_i$ :

$$M'_i = O_{\text{н}_i} O'_{\text{ш}_i}.$$

Из  $\Delta O_{\text{н}_i} O'_{\text{ш}_i} E'_i$  межцентровое расстояние  $M'_i$  равно  $M'_i = \sqrt{(O'_{\text{ш}_i} E'_i)^2 + (O_{\text{н}_i} E'_i)^2}$ .

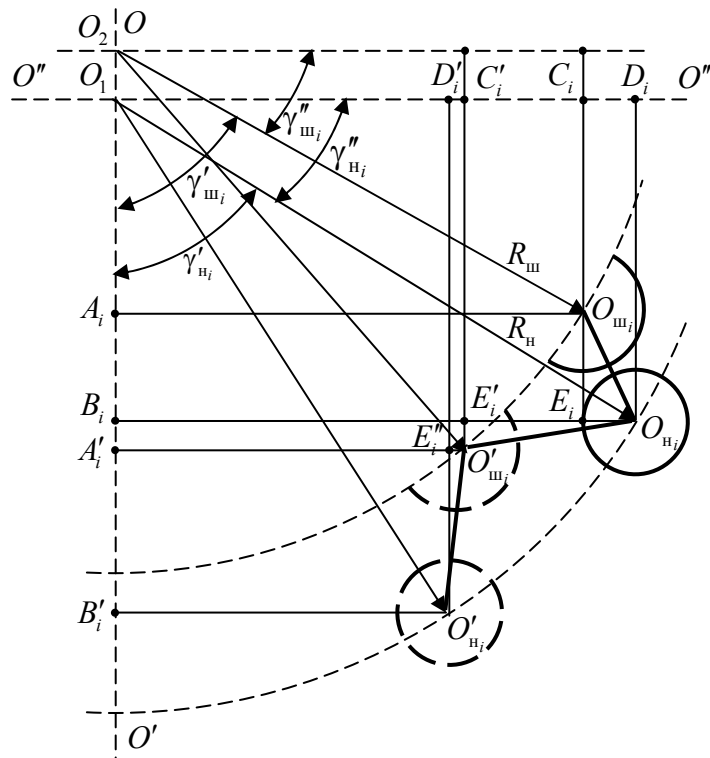


Рис. 2 – Схема определения межцентрового расстояния во второй четверти

Обозначим  $A'_i = O_{ш_i} E'_i$  и  $B'_i = O'_{н_i} E'_i$ . Тогда  $M'_i = \sqrt{A_i'^2 + B_i'^2}$ .

Если след центра зуба  $O_{н_i}$  направляющей на оси  $OO'$  расположен выше следа центра зуба  $O'_{ш_i}$  шестерни (рис. 2), то  $A'_i = O_{ш_i} E'_i = O_1 B'_i - O_1 A'_i$ , где  $O_1 B'_i = O_2 B' - e = R_{ш} \cdot \cos \gamma'_{ш_i} - e$ ;  $O_1 A'_i = R_{н} \cdot \cos \gamma'_{н_i}$ .

Тогда

$$A'_i = R_{ш} \cdot \cos \gamma'_{ш_i} - e - R_{н} \cdot \cos \gamma'_{н_i}. \quad (11)$$

Так как, след центра  $O_{н_i}$  зуба направляющей на оси  $O''O''$  расположен правее следа центра  $O_{ш_i}$  зуба шестерни (рис. 2), то  $B'_i$  определяется из выражения (9), а межцентровое расстояние  $M'_i$  будет равно

$$M'_i = \sqrt{[R_{ш} \cdot \cos \gamma'_{ш_i} - e - R_{н} \cdot \cos \gamma'_{н_i}]^2 + [R_{н} \cdot \cos \gamma''_{н_i} - R_{ш} \cdot \cos \gamma''_{ш_i}]^2}. \quad (12)$$

Расстояние между центром зуба направляющей  $O'_{н_i}$  и центром зуба шестерни  $O'_{ш_i}$  обозначим  $M''_i$ :

$$M''_i = O'_{н_i} O'_{ш_i}.$$

Из  $\Delta O'_{н_i} O'_{ш_i} E''_i$  межцентровое расстояние  $M''_i$  равно  $M''_i = \sqrt{(O'_{н_i} E''_i)^2 + (O'_{ш_i} E''_i)^2}$ .

Обозначим  $A''_i = O'_{н_i} E''_i$  и  $B''_i = O'_{ш_i} E''_i$ . Тогда  $M''_i = \sqrt{A_i''^2 + B_i''^2}$ .

Так как, след центра зуба  $O'_{н_i}$  направляющей на оси  $OO'$  расположен ниже следа центра зуба  $O'_{ш_i}$  шестерни (рис. 2), то  $A''_i$  определяется из выражения (8).

Если след центра  $O'_{н_i}$  зуба направляющей на оси  $O''O'''$  расположен левее следа центра  $O'_{ш_i}$  зуба шестерни (рис. 2), то  $B''_i = O'_{ш_i}E''_i = O_1C'_i - O_1D'_i$ , где  $O_1C'_i = O_2C'_i = R_{ш} \cdot \cos \gamma''_{ш_i}$ ;  $O_1D'_i = R_{н} \cdot \cos \gamma''_{н_i}$ .

Тогда

$$B''_i = R_{ш} \cdot \cos \gamma''_{ш_i} - R_{н} \cdot \cos \gamma''_{н_i}, \quad (13)$$

а межцентровое расстояние  $M''_i$  будет равно

$$M''_i = \sqrt{[R_{н} \cdot \cos \gamma'_{н_i} - R_{ш} \cdot \cos \gamma'_{ш_i} + e]^2 + [R_{ш} \cdot \cos \gamma''_{ш_i} - R_{н} \cdot \cos \gamma''_{н_i}]^2}. \quad (14)$$

3) Определим межцентровые расстояния  $M_i$  между центрами зубьев  $O_{н_i}$  направляющей и  $O_{ш_i}$  шестерни в третьей четверти (рис. 3) при условии  $\pi < \gamma_{н_i} \leq \frac{3\pi}{2}$ ;  $\pi < \gamma_{ш_i} \leq \frac{3\pi}{2}$ .

Расстояние между центром зуба направляющей  $O_{н_i}$  и центром зуба шестерни  $O_{ш_i}$  обозначим  $M_i$ :

$$M_i = O_{н_i} O_{ш_i}.$$

Из  $\Delta O_{н_i} O_{ш_i} E_i$  межцентровое расстояние  $M_i$  равно  $M_i = \sqrt{(O_{н_i} E_i)^2 + (O_{ш_i} E_i)^2}$ .

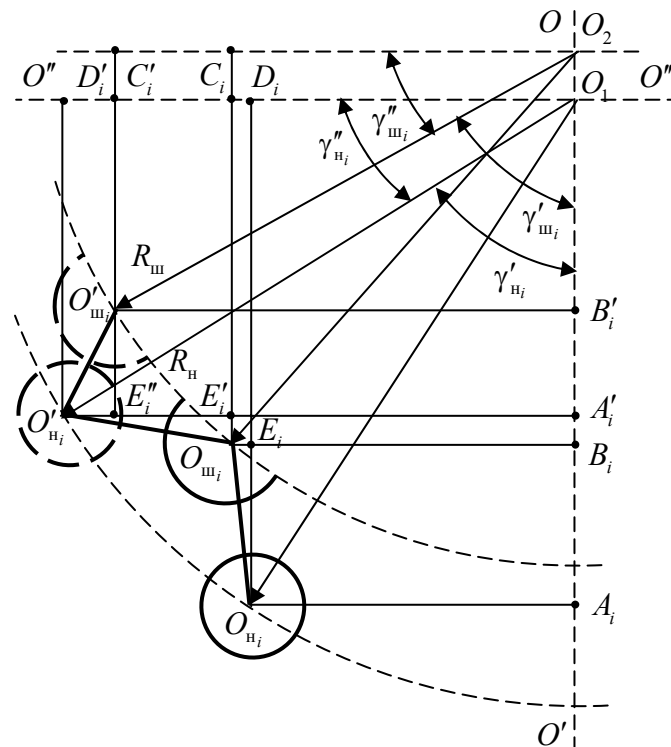


Рис. 3 – Схема определения межцентрового расстояния в третьей четверти

Обозначим  $O_{н_i} E_i = A_i$  и  $O_{ш_i} E_i = B_i$ , тогда  $M_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}$ .

Так как, след центра зуба  $O_{н_i}$  направляющей на оси  $OO'$  расположен ниже

следа центра зуба  $O_{ш_i}$  шестерни (рис. 3), то  $A_i$  определяется из выражения (8), с учетом, что  $\gamma'_{н_i} = \gamma_{н_i} - \pi$ ;  $\gamma'_{ш_i} = \gamma_{ш_i} - \pi$  – при расположении центров зубьев направляющей и шестерни третьей четверти.

Так как, след центра  $O_{н_i}$  зуба направляющей на оси  $O''O'''$  расположен правее следа центра  $O_{ш_i}$  зуба шестерни (рис. 3), то  $B_i$  определяется из выражения (13), с учетом, что  $\gamma''_{н_i} = \frac{3\pi}{2} - \gamma_{н_i}$ ,  $\gamma''_{ш_i} = \frac{3\pi}{2} - \gamma_{ш_i}$  – при расположении центров зубьев направляющей и шестерни в третьей четверти.

Межцентровое расстояние  $M_i$  определяется из выражения (14).

Расстояние между центром зуба направляющей  $O'_{н_i}$  и центром зуба шестерни  $O'_{ш_i}$  обозначим  $M'_i$ :

$$M'_i = O'_{н_i} O'_{ш_i}.$$

Из  $\Delta O'_{н_i} O'_{ш_i} E'_i$  межцентровое расстояние  $M'_i$  равно  $M'_i = \sqrt{(O'_{ш_i} E'_i)^2 + (O'_{н_i} E'_i)^2}$ .

Обозначим  $A'_i = O'_{ш_i} E'_i$  и  $B'_i = O'_{н_i} E'_i$ . Тогда  $M'_i = \sqrt{A_i'^2 + B_i'^2}$ .

Так как, след центра зуба  $O'_{н_i}$  направляющей на оси  $OO'$  расположен выше следа центра зуба  $O'_{ш_i}$  шестерни (рис. 3), то  $A'_i$  определяется из выражения (11).

Так как, след центра  $O'_{ш_i}$  зуба направляющей на оси  $O''O'''$  расположен левее следа центра  $O'_{н_i}$  зуба шестерни (рис. 3), то  $B'_i$  определяется из выражения (9), а межцентровое расстояние  $M'_i$  – из выражения (12).

Расстояние между центром зуба направляющей  $O''_{н_i}$  и центром зуба шестерни  $O''_{ш_i}$  обозначим  $M''_i$ :

$$M''_i = O''_{н_i} O''_{ш_i}.$$

Из  $\Delta O''_{н_i} O''_{ш_i} E''_i$  межцентровое расстояние  $M''_i$  равно  $M''_i = \sqrt{(O''_{ш_i} E''_i)^2 + (O''_{н_i} E''_i)^2}$ .

Обозначим  $A''_i = O''_{ш_i} E''_i$  и  $B''_i = O''_{н_i} E''_i$ . Тогда  $M''_i = \sqrt{A_i''^2 + B_i''^2}$ .

Так как, след центра зуба  $O''_{н_i}$  направляющей на оси  $OO'$  расположен ниже следа центра зуба  $O''_{ш_i}$  шестерни (рис. 3), то  $A''_i$  определяется из выражения (8).

Так как, след центра  $O''_{ш_i}$  зуба направляющей на оси  $O''O'''$  расположен левее следа центра  $O''_{н_i}$  зуба шестерни (рис. 3), то  $B''_i$  определяется из выражения (9), а межцентровое расстояние  $M''_i$  – из выражения (10).

Определение межцентровых расстояний между центрами зубьев направляющей и шестерни, расположенных в третьей четверти по выражениям (10), (12) и (14) производится с учетом, что  $\gamma'_{н_i} = \gamma_{н_i} - \pi$ ,  $\gamma'_{ш_i} = \gamma_{ш_i} - \pi$ , а  $\gamma''_{н_i} = \frac{3\pi}{2} - \gamma_{н_i}$ ,  $\gamma''_{ш_i} = \frac{3\pi}{2} - \gamma_{ш_i}$ .

4) Определим межцентровые расстояния  $M_i$  между центрами зубьев  $O_{н_i}$  направляющей и  $O_{ш_i}$  шестерни в четвертой четверти (рис. 4) при условии

$$\frac{3\pi}{2} < \gamma_{нi} \leq 2\pi; \quad \frac{3\pi}{2} < \gamma_{шi} \leq 2\pi.$$

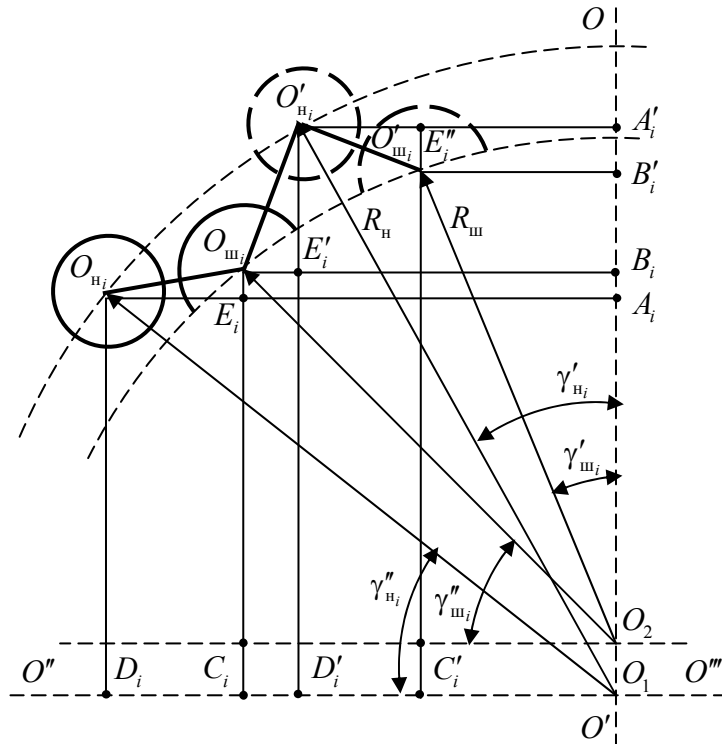


Рис. 4 – Схема определения межцентрового расстояния в четвертой четверти

Расстояние между центром зуба направляющей  $O_{нi}$  и центром зуба шестерни  $O_{шi}$  обозначим  $M_i$ :

$$M_i = O_{нi} O_{шi}.$$

Из  $\Delta O_{нi} O_{шi} E_i$  межцентровое расстояние  $M_i$  равно  $M_i = \sqrt{(O_{шi} E_i)^2 + (O_{нi} E_i)^2}$ .

Обозначим  $A_i = O_{шi} E_i$  и  $B_i = O_{нi} E_i$ . Тогда  $M_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}$ .

Так как, след центра зуба  $O_{нi}$  направляющей на оси  $OO'$  расположен ниже следа центра зуба  $O_{шi}$  шестерни (рис. 4), то  $A_i$  определяется аналогично выражению (6) и равно

$$A_i = R_{ш} \cdot \cos \gamma'_{шi} + e - R_{н} \cdot \cos \gamma'_{нi}, \quad (15)$$

где  $\gamma'_{нi} = 2\pi - \gamma_{нi}$ ,  $\gamma'_{шi} = 2\pi - \gamma_{шi}$  – при расположении центров зубьев направляющей и шестерни в четвертой четверти.

Так как, след центра  $O_{нi}$  зуба направляющей на оси  $O''O'''$  расположен левее следа центра  $O_{шi}$  зуба шестерни (рис. 4), то  $B_i$  определяется из выражения (9), с учетом, что  $\gamma''_{нi} = \gamma_{нi} - \frac{3\pi}{2}$ ,  $\gamma''_{шi} = \gamma_{шi} - \frac{3\pi}{2}$  – при расположении центров зубьев направляющей и шестерни в четвертой четверти.

Межцентровое расстояние  $M_i$  будет равно:



$$M_i = \sqrt{[R_{ш} \cdot \cos \gamma'_{ш_i} + e - R_{н} \cdot \cos \gamma'_{н_i}]^2 + [R_{ш} \cdot \cos \gamma''_{ш_i} - R_{н} \cdot \cos \gamma''_{н_i}]^2}. \quad (16)$$

Расстояние между центром зуба направляющей  $O'_{н_i}$  и центром зуба шестерни  $O_{ш_i}$  обозначим  $M'_i$ :

$$M'_i = O'_{н_i} O_{ш_i}.$$

Из  $\Delta O'_{н_i} O_{ш_i} E'_i$  межцентровое расстояние  $M'_i$  равно  $M'_i = \sqrt{(O'_{н_i} E'_i)^2 + (O_{ш_i} E'_i)^2}$ .

Обозначим  $O'_{н_i} E'_i = A_i$  и  $O_{ш_i} E'_i = B_i$ , тогда  $M'_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}$ .

Так как, след центра зуба  $O'_{н_i}$  направляющей на оси  $OO'$  расположен выше следа центра зуба  $O_{ш_i}$  шестерни (рис. 4), то  $A'_i$  определяется аналогично выражению (1) и равно

$$A'_i = R_{н} \cdot \cos \gamma'_{н_i} - R_{ш} \cdot \cos \gamma'_{ш_i} - e. \quad (17)$$

Так как след центра  $O_{ш_i}$  зуба направляющей на оси  $O''O'''$  расположен правее следа центра  $O_{ш_i}$  зуба шестерни (рис. 4), то  $B'_i$  определяется из выражения (13), а межцентровое расстояние  $M'_i$  будет равно:

$$M'_i = \sqrt{[R_{н} \cdot \cos \gamma'_{н_i} - R_{ш} \cdot \cos \gamma'_{ш_i} - e]^2 + [R_{ш} \cdot \cos \gamma''_{ш_i} - R_{н} \cdot \cos \gamma''_{н_i}]^2}. \quad (18)$$

Расстояние между центром зуба направляющей  $O'_{н_i}$  и центром зуба шестерни  $O'_{ш_i}$  обозначим  $M''_i$ :

$$M''_i = O'_{н_i} O'_{ш_i}.$$

Из  $\Delta O'_{н_i} O'_{ш_i} E''_i$  межцентровое расстояние  $M''_i$  равно  $M''_i = \sqrt{(O'_{ш_i} E''_i)^2 + (O'_{н_i} E''_i)^2}$ .

Обозначим  $A''_i = O'_{ш_i} E''_i$  и  $B''_i = O'_{н_i} E''_i$ . Тогда  $M''_i = \sqrt{A''_i^2 + B''_i^2}$ .

Так как, след центра зуба  $O'_{н_i}$  направляющей на оси  $OO'$  расположен выше следа центра зуба  $O'_{ш_i}$  шестерни (рис. 4), то  $A''_i$  определяется из выражения (17).

Так как, след центра  $O'_{ш_i}$  зуба направляющей на оси  $O''O'''$  расположен левее следа центра  $O'_{ш_i}$  зуба шестерни (рис. 4), то  $B''_i$  определяется из выражения (9), а межцентровое расстояние  $M''_i$  будет равно

$$M''_i = \sqrt{[R_{н} \cdot \cos \gamma'_{н_i} - R_{ш} \cdot \cos \gamma'_{ш_i} - e]^2 + [R_{н} \cdot \cos \gamma''_{н_i} - R_{ш} \cdot \cos \gamma''_{ш_i}]^2}. \quad (19)$$

Определение межцентровых расстояний между центрами зубьев направляющей и шестерни, расположенных в третьей четверти по выражениям (17)–(19) производится

с учетом, что  $\gamma'_{н_i} = 2\pi - \gamma_{н_i}$ ,  $\gamma'_{ш_i} = 2\pi - \gamma_{ш_i}$ , а  $\gamma''_{н_i} = \gamma_{н_i} - \frac{3\pi}{2}$ ,  $\gamma''_{ш_i} = \gamma_{ш_i} - \frac{3\pi}{2}$ .

Разработанная методика определения межцентровых расстояний между зубьями элементов вытеснительной системы позволяет определить изменение зазоров между зубьями вытеснителей (шестерни и направляющей) гидровращателя планетарного типа.