ЗАДАНИЕ

В дифференциальном механизме (рисунок 1) шестерни *1,2,3* находятся в зацеплении. Шестерня *1* вращается вокруг оси $O(z)$ по закону

$$\psi = t^2 \, рад \, .$$

Водило *4* вращается вокруг оси $O(z)$ и несет на себе ось шестерни *2*, проходящей через точку С. Закон вращения шестерни 3 вокруг своей оси

$$\varphi = t \; рад \, .$$

Принять

$$r_1 = 3r_2 = 3r_3 = 0{,}45\, м \, ; \;\; t^* = 1с \, ; \;\; 0 \le t \le 1с \, .$$

На схеме механизма указаны начала и направления положительного отсчета величин, определяющих законы движения. Законы справедливы в пределах отрезка времени $0 \le t \le 1с$. Схема механической системы на рисунке 1 изображена для расчетного момента времени $t^* = 1с$.

Для момента времени $t^* = 1с$ требуется:

1) определить скорости и ускорения точек *A,B,C*, *D*, угловые скорости и ускорения всех звеньев механизма; по векторным формулам построить многоугольники скоростей и ускорений точек;

2) найти положение мгновенного центра скоростей (МЦС) звеньев механизма и мгновенного центра ускорений (МЦУ) звена *2*, с их помощью проверить правильность нахождения скорости и ускорения точки *B*;

3) нанести на рисунок механизма векторы скорости и ускорения точек *A,B,C*, обозначить круговыми стрелками направления угловых скоростей и ускорений звеньев.

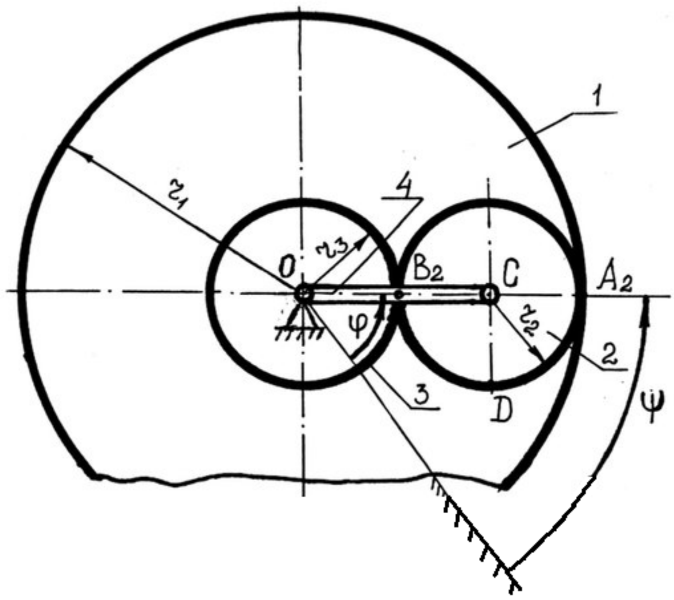


Рисунок 1

Решение

По условию шестерня *1* вращается вокруг оси $O(z)$ по закону $\psi = t^2 рад$, а закон вращения шестерни 3 вокруг своей оси – $\varphi = t\ рад$. Следовательно, угловые скорости шестерен *1* и *3* равны:

$$\omega_{1z} = \frac{d\psi}{dt} = \frac{d\left(t^2\right)}{dt} = 2t; \tag{1}$$

$$\omega_{3z} = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{d\left(t\right)}{dt} = 1\, рад/с; \tag{2}$$

а угловые ускорения шестерен *1* и *3*:

$$\varepsilon_{1z} = \frac{d\omega_{1z}}{dt} = \frac{d\left(2t\right)}{dt} = 2\, рад/с^2; \tag{3}$$

$$\varepsilon_{3z} = \frac{d\omega_{3z}}{dt} = \frac{d\left(1\right)}{dt} = 0. \tag{4}$$

Установим связь между угловыми скоростями и угловыми ускорениями и шестерен *1,2,3* и водила *4*. Воспользуемся методом обращения движения. Для этого мысленно сообщим всему механизму угловую скорость, численно равную угловой скорости водила *4*, но противоположно ей направленную. В полученном обращенном механизме водило *4* становится неподвижным, а угловые скорости шестерен *1,2,3* изменяются на величину угловой скорости водила ω_4. Так как оси вращения шестерен в обращенном механизме неподвижны, то имеют место соотношения:

$$\left(\omega_{2z} - \omega_{4z}\right)\cdot r_2 = -\left(\omega_{3z} - \omega_{4z}\right)\cdot r_3; \tag{5}$$

$$\left(\omega_{1z} - \omega_{4z}\right)\cdot r_1 = \left(\omega_{2z} - \omega_{4z}\right)\cdot r_2. \tag{6}$$

Знак минус в соотношении (5) так как здесь для шестерен *2* и *3* имеем внешнее зацепление, при котором относительные угловые скорости имеют противоположные направления. В соотношении (6) минуса нет, так как здесь для шестерен *1* и *2* имеем внутреннее зацепление, при котором относительные угловые скорости имеют одинаковые направления.

По условию $r_1 = 3r_2 = 3r_3$, следовательно, из соотношений (5) и (6) получим:

$$\omega_{2z} - \omega_{4z} = -\omega_{3z} + \omega_{4z}; \tag{7}$$

$$3\left(\omega_{1z} - \omega_{4z}\right) = \omega_{2z} - \omega_{4z}. \tag{8}$$

Решим совместно уравнения (7) и (8).

$$\omega_{2z} = 2\omega_{4z} - \omega_{3z};$$

$$3(\omega_{1z} - \omega_{4z}) = (2\omega_{4z} - \omega_{3z}) - \omega_{4z};$$

$$\omega_{4z} = \frac{3\omega_{1z} + \omega_{3z}}{4} \tag{9}$$

$$\omega_{2z} = 2\left(\frac{3\omega_{1z} + \omega_{3z}}{4}\right) - \omega_{3z} = \frac{3\omega_{1z} - \omega_{3z}}{2}. \tag{10}$$

Подставляя в (9) и (10) выражения (1) и (2), получим выражения для угловых скоростей шестерен *2* и *4*:

$$\omega_{4z} = \frac{3 \cdot 2t + 1}{4} = 1{,}5t + 0{,}25; \tag{11}$$

$$\omega_{2z} = \frac{3 \cdot 2t - 1}{2} = 3t - 0{,}5. \tag{12}$$

Продифференцировав по времени (11) и (12), получим выражения для угловых ускорений шестерен *2* и *4*:

$$\varepsilon_{4z} = \frac{d\omega_{4z}}{dt} = \frac{d(1{,}5t + 0{,}25)}{dt} = 1{,}5\ рад/c^2; \tag{13}$$

$$\varepsilon_{2z} = \frac{d\omega_{2z}}{dt} = \frac{d(3t - 0{,}5)}{dt} = 3\ рад/c^2. \tag{14}$$

В рассматриваемый момент времени $t^* = 1c$ значения угловых скоростей и угловых ускорений шестерен *1,2,3* и водила *4* равны:

$$\left.\begin{aligned}
\omega_{1z}^* &= 2t^* = 2 \cdot 1 = 2\ рад/c \\
\omega_{2z}^* &= 3t^* - 0{,}5 = 3 \cdot 1 - 0{,}5 = 2{,}5\ рад/c \\
\omega_{3z}^* &= 1\ рад/c \\
\omega_{4z}^* &= 1{,}5t^* + 0{,}25 = 1{,}5 \cdot 1 + 0{,}25 = 1{,}75\ рад/c \\
\varepsilon_{1z}^* &= 2\ рад/c^2 \\
\varepsilon_{2z}^* &= 3\ рад/c^2 \\
\varepsilon_{3z}^* &= 0 \\
\varepsilon_{4z}^* &= 1{,}5\ рад/c^2
\end{aligned}\right\} \tag{15}$$

Знаки указывает на то, что направление угловых скоростей и угловых ускорений (для отличных от нуля) совпадают с направлениями положительного отсчета углов ψ и φ, т.е направлены против часовой стрелки. Покажем это на схеме механизма (рисунок 2).

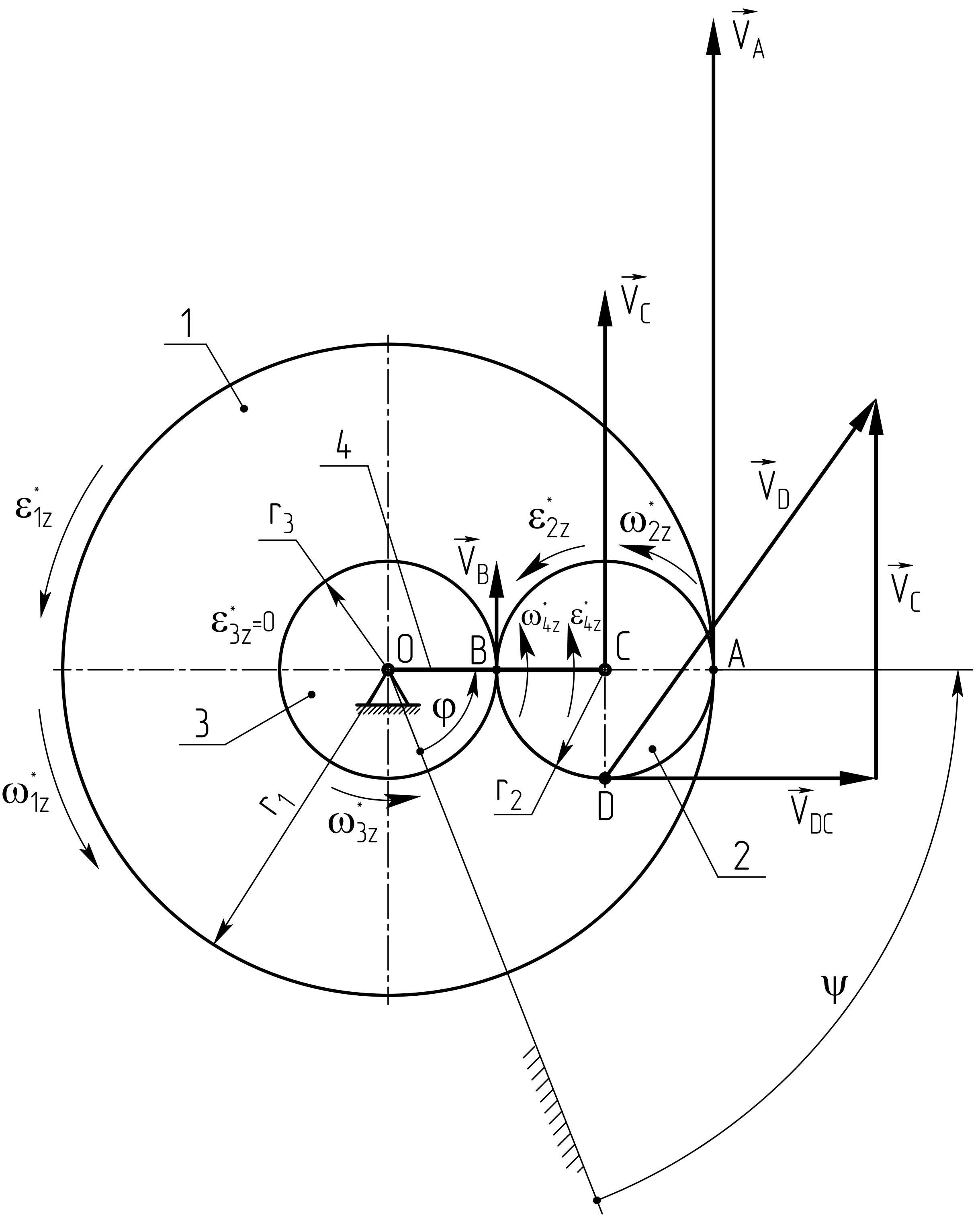


Рисунок 2

Определим скорости точек A, B, C и D в момент времени $t^* = 1c$. Скорости точек зацепления, принадлежащих разным шестерням, равны между собой, поэтому не будем выделять их отдельными индексами.

Так как точка A вращается вокруг точки O с угловой скоростью ω^*_{1z}, то ее скорость равна:

$$V^*_A = r_1 \cdot \omega^*_{1z} = 0,45 \cdot 2 = 0,9\, м/с.$$

Так как точка B вращается вокруг точки O с угловой скоростью ω_{3z}^*, то ее скорость равна:

$$V_B^* = r_3 \cdot \omega_{3z}^* = 0{,}15 \cdot 1 = 0{,}15\,м/с.$$

Так как точка C вращается вокруг точки O с угловой скоростью ω_{4z}^*, то ее скорость равна:

$$V_C^* = (r_2 + r_3) \cdot \omega_{4z}^* = (0{,}15 + 0{,}15) \cdot 1{,}75 = 0{,}525\,м/с.$$

Скорость точки D в момент времени $t^* = 1с$ (рисунок 2) можно выразить следующим образом:

$$\vec{V}_D^* = \vec{V}_C^* + \vec{V}_{DC}^*, \tag{16}$$

где

$$V_{DC}^* = r_2 \cdot \omega_{2z}^* = 0{,}15 \cdot 2{,}5 = 0{,}375\,м/с.$$

Поскольку векторы $\vec{V}_C^*$ и $\vec{V}_{DC}^*$ взаимно перпендикулярны, то величина скорости точки B равна:

$$\vec{V}_D^* = \sqrt{\left(V_C^*\right)^2 + \left(V_{DC}^*\right)^2} = \sqrt{0{,}525^2 + 0{,}375^2} = 0{,}645\,м/с. \tag{17}$$

Покажем на схеме механизма векторы скоростей точек A, B, C и D (рисунок 2).

Определим ускорения точек A, B, C и D в момент времени $t^* = 1с$. В отличие от скоростей точек зацепления, ускорения точек зацепления принадлежащих разным шестерням, не равны между собой, поэтому будем выделять их отдельными индексами, соответствующими номерам шестерен.

Так как точка A_1 вращается вокруг точки O с угловой скоростью ω_{1z}^* и угловым ускорением ε_{1z}^*, то ее ускорение равно:

$$\vec{a}_{A_1}^* = \vec{a}_{A_1O}^{n*} + \vec{a}_{A_1O}^{\tau*}, \tag{18}$$

где

$$a_{A_1O}^{n*} = \left(\omega_{1z}^*\right)^2 \cdot r_1 = 2^2 \cdot 0{,}45 = 1{,}8\,м/с^2,$$

$$a_{A_1O}^{\tau*} = \varepsilon_{1z}^* \cdot r_1 = 2 \cdot 0{,}45 = 0{,}9\,м/с^2.$$

Поскольку векторы $\vec{a}_{A_1O}^{n*}$ и $\vec{a}_{A_1O}^{\tau*}$ взаимно перпендикулярны, то величина ускорения точки A равна:

$$a_{A_1}^* = \sqrt{\left(a_{A\,O}^{n*}\right)^2 + \left(a_{A\,O}^{\tau*}\right)^2} = \sqrt{1{,}8^2 + 0{,}9^2} = 2{,}012\,м/с^2. \tag{19}$$

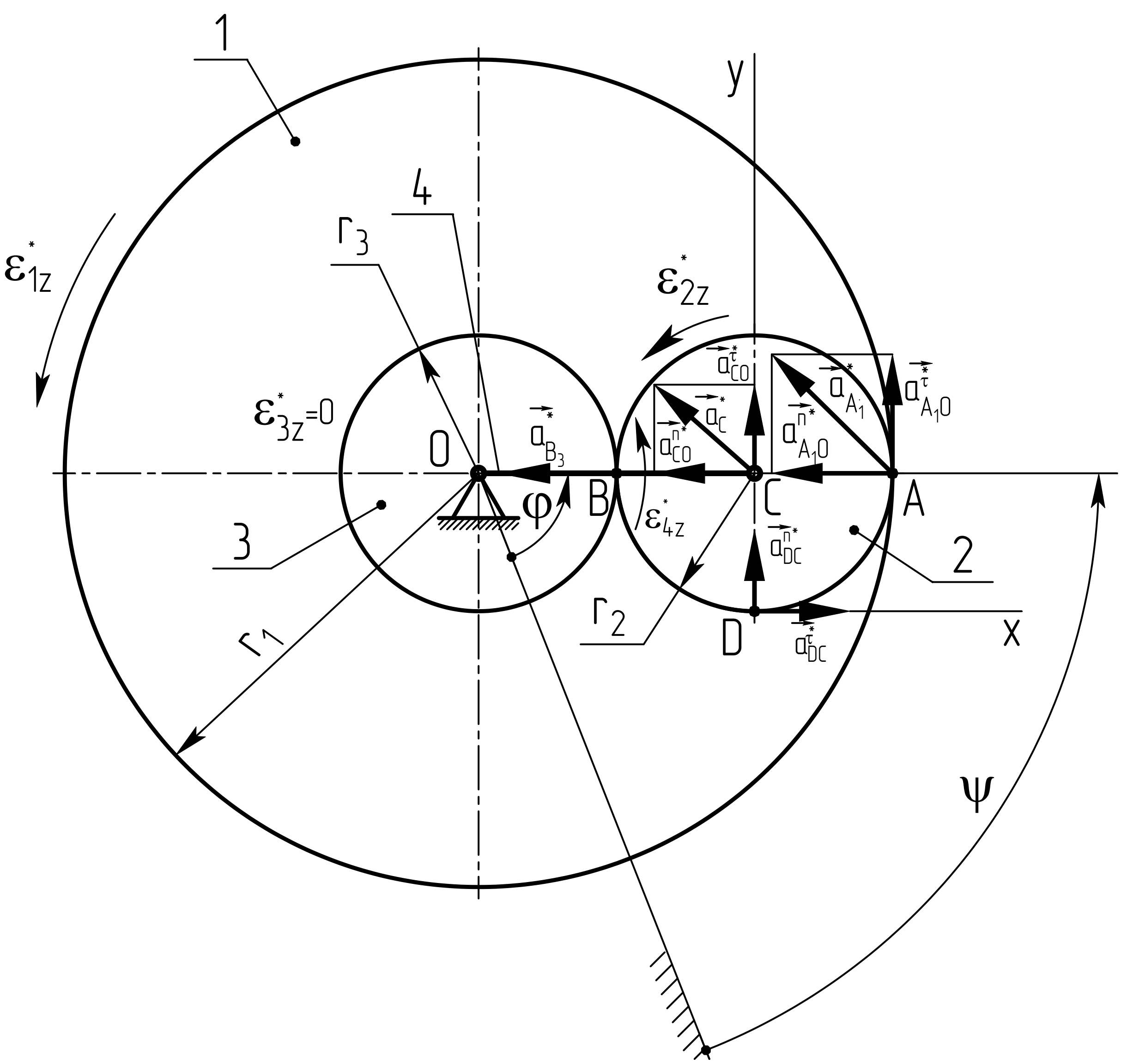


Рисунок 3

Так как точка B_3 вращается вокруг точки O с постоянной угловой скоростью ω^*_{3z}, то ее ускорение равно:

$$\vec{a}^*_{B_3} = \vec{a}^{n*}_{B_3O}, \tag{20}$$

где

$$a^{n*}_{B_3O} = \left(\omega^*_{3z}\right)^2 \cdot r_3 = 1^2 \cdot 0{,}15 = 0{,}15\, м/с^2,$$

$$a^*_{B_3} = a^{n*}_{B_3O} = 0{,}15\, м/с^2. \tag{21}$$

Так как точка C вращается вокруг точки O с угловой скоростью ω^*_{4z} и угловым ускорением ε^*_{4z}, то ее ускорение равно:

$$\vec{a}^*_C = \vec{a}^{n*}_{CO} + \vec{a}^{\tau*}_{CO}, \tag{22}$$

где

$$a^{n*}_{CO} = \left(\omega^*_{4z}\right)^2 \cdot \left(r_2 + r_3\right) = 1{,}75^2 \cdot \left(0{,}15 + 0{,}15\right) = 0{,}91875\, м/с^2,$$

$$a^{\tau*}_{CO} = \varepsilon^*_{4z} \cdot \left(r_2 + r_3\right) = 1{,}5 \cdot \left(0{,}15 + 0{,}15\right) = 0{,}45\, м/с^2.$$

Поскольку векторы $\vec{a}_{CO}^{n*}$ и $\vec{a}_{CO}^{\tau*}$ взаимно перпендикулярны, то величина ускорения точки C равна:

$$a_C^* = \sqrt{\left(a_{CO}^{n*}\right)^2 + \left(a_{CO}^{\tau*}\right)^2} = \sqrt{0,91875^2 + 0,45^2} = 1,023\, м / c^2. \qquad (23)$$

Ускорение точки D можно выразить следующим образом:

$$\vec{a}_D^* = \vec{a}_C^* + \vec{a}_{DC}^* = \vec{a}_{CO}^{n*} + \vec{a}_{CO}^{\tau*} + \vec{a}_{DC}^{n*} + \vec{a}_{DC}^{\tau*}, \qquad (24)$$

где

$$a_{DC}^{n*} = \left(\omega_{2z}^*\right)^2 \cdot r_2 = 2,5^2 \cdot 0,15 = 0,9375\, м / c^2,$$

$$a_{DC}^{\tau*} = \varepsilon_{2z}^* \cdot r_2 = 3 \cdot 0,15 = 0,45\, м / c^2.$$

Проведем координатные оси Dxy (рисунок 3) и спроектируем обе части равенства (24) на эти оси. Получим для рассматриваемого момента времени:

$$a_{Dx}^* = -a_{CO}^{n*} + a_{DC}^{\tau*} = -0,91875 + 0,45 = -0,46875\, м / c^2;$$

$$a_{Dy}^* = a_{CO}^{\tau*} + a_{DC}^{n*} = 0,45 + 0,9375 = 1,3875\; м / c^2;$$

$$a_D^* = \sqrt{\left(a_{Dx}^*\right)^2 + \left(a_{Dy}^*\right)^2} = \sqrt{\left(-0,46875\right)^2 + 1,3875^2} = 1,465\, м / c^2. \qquad (25)$$

Покажем на схеме механизма вектора ускорений точек A_1, B_3, C и D (рисунок 3).

Ускорение точки B_2 можно выразить следующим образом:

$$\vec{a}_{B_2}^* = \vec{a}_C^* + \vec{a}_{B_2C}^* = \vec{a}_{CO}^{n*} + \vec{a}_{CO}^{\tau*} + \vec{a}_{B_2C}^{n*} + \vec{a}_{B_2C}^{\tau*}, \qquad (26)$$

где

$$a_{B_2C}^{n*} = \left(\omega_{2z}^*\right)^2 \cdot r_2 = 2,5^2 \cdot 0,15 = 0,9375\, м / c^2,$$

$$a_{B_2C}^{\tau*} = \varepsilon_{2z}^* \cdot r_2 = 3 \cdot 0,15 = 0,45\, м / c^2.$$

Проведем координатные оси B_2xy (рисунок 4) и спроектируем обе части равенства (26) на эти оси. Получим для рассматриваемого момента времени:

$$a_{B_2x}^* = -a_{CO}^{n*} + a_{B_2C}^{n*} = -0,91875 + 0,9375 = 0,01875\, м / c^2;$$

$$a_{B_2y}^* = a_{CO}^{\tau*} - a_{B_2C}^{\tau*} = 0,45 - 0,45 = 0;$$

$$a_{B_2}^* = \sqrt{\left(a_{B_2x}^*\right)^2 + \left(a_{B_2y}^*\right)^2} = \sqrt{0,01875^2 + 0} \simeq 0,019\, м / c^2. \qquad (27)$$

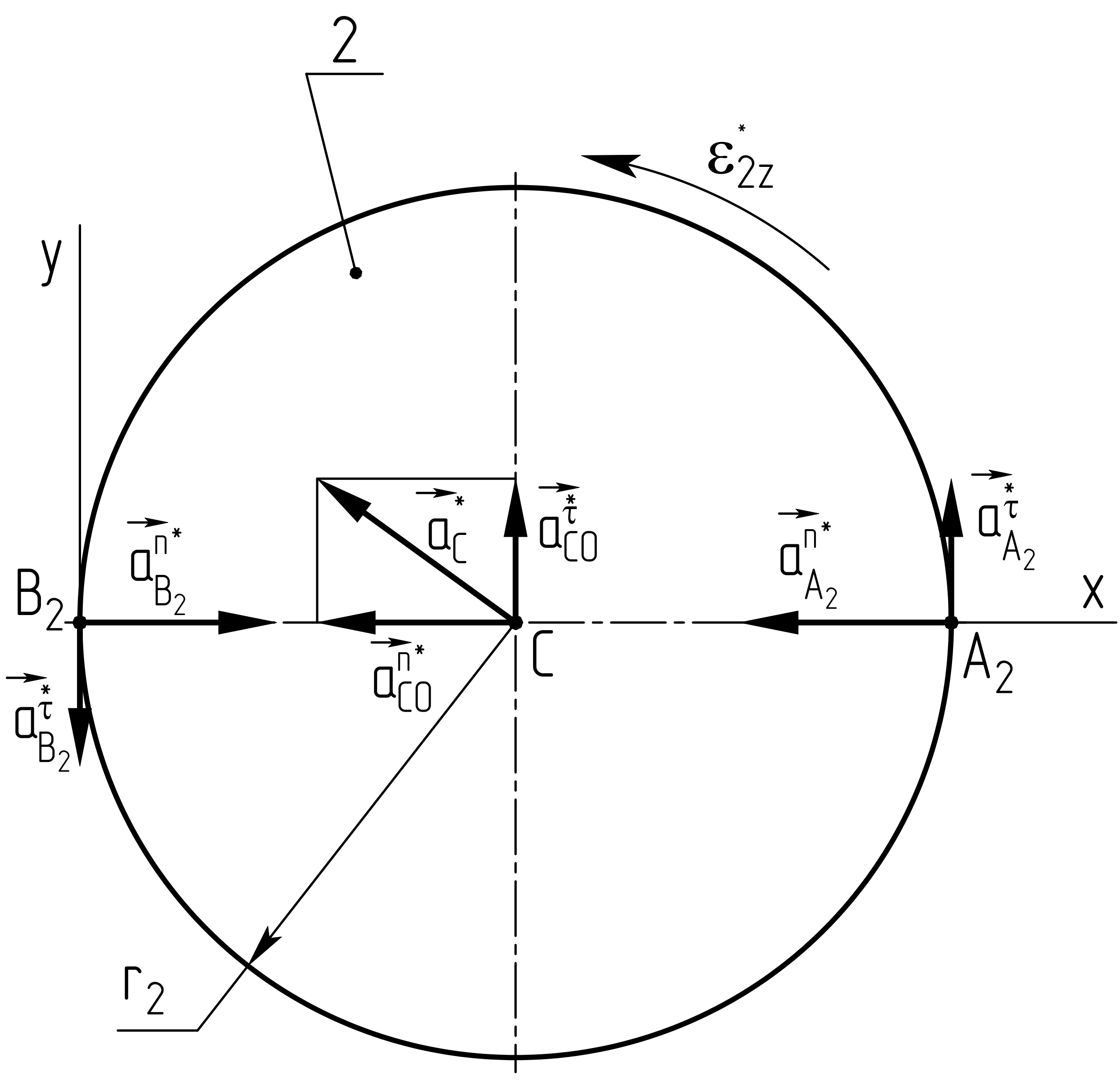


Рисунок 4

Ускорение точки A_2 можно выразить следующим образом:

$$\vec{a}^*_{A_2} = \vec{a}^*_C + \vec{a}^*_{A_2C} = \vec{a}^{n*}_{CO} + \vec{a}^{\tau*}_{CO} + \vec{a}^{n*}_{A_2C} + \vec{a}^{\tau*}_{A_2C}, \qquad (28)$$

где

$$a^{n*}_{A_2C} = \left(\omega^*_{2z}\right)^2 \cdot r_2 = 2,5^2 \cdot 0,15 = 0,9375\, м/с^2,$$

$$a^{\tau*}_{A_2C} = \varepsilon^*_{2z} \cdot r_2 = 3 \cdot 0,15 = 0,45\, м/с^2.$$

Спроектируем обе части равенства (28) на оси B_2xy (рисунок 4). Получим для рассматриваемого момента времени:

$$a^*_{A_2x} = -a^{n*}_{CO} - a^{n*}_{A_2C} = -0,91875 - 0,9375 = -1,85625\, м/с^2;$$

$$a^*_{A_2y} = a^{\tau*}_{CO} + a^{\tau*}_{A_2C} = 0,45 + 0,45 = 0,9\, м/с^2;$$

$$a^*_{A_2} = \sqrt{\left(a^*_{A_2x}\right)^2 + \left(a^*_{A_2y}\right)^2} = \sqrt{\left(-1,85625\right)^2 + 0,9^2} \simeq 2,063\, м/с^2. \qquad (29)$$

Найдем положение мгновенного центра скоростей (МЦС) звеньев механизма и мгновенного центра ускорений (МЦУ) звена *2*, с их помощью проверим правильность нахождения скорости и ускорения точки *B*.

Строим механизм в выбранном масштабе (рисунок 5). Шестерни *1,3* и водило *4* вращаются вокруг неподвижного центра O.

Мгновенный центр скоростей *P* шестерни *2* находится как точка пересечения перпендикуляров, проведенных из точек *A* и *B* к их скоростям (эти перпендикуляры лежат на одной прямой) и прямой, проведенной через концы векторов скоростей точек *A* и *B* (скорости прямо пропорциональны расстояниям до МЦС). Конец вектора скорости точки *C* также лежит на указанной прямой.

Для мгновенного центра скоростей *P* шестерни *2* можем записать соотношение:

$$\omega^*_{2z} = \frac{V^*_A}{PA} = \frac{V^*_B}{PB} = \frac{V^*_C}{PC} = \frac{V^*_C}{PD}\ . \qquad (30)$$

Угловая скорость шестерни *2* была найдена ранее и для рассматриваемого момента времени $t^* = 1 с$ равна $\omega^*_{2z} = 2,5\, рад/с$.

Так как точка *A* вращается вокруг точки *O* с угловой скоростью $\omega^*_{1z} = 2\, рад/с$, то ее скорость равна:

$$V^*_A = r_1 \cdot \omega^*_{1z} = 0,45 \cdot 2 = 0,9\, м/с.$$

Из соотношения (30) получаем:

$$PA = \frac{V^*_A}{\omega^*_{2z}} = \frac{0,9}{2,5} = 0,36\, м\ ; \qquad (31)$$

$$PB = PA - 2r_2 = 0,36 - 2 \cdot 0,15 = 0,06\, м; \qquad (32)$$

$$PC = PB + r_2 = 0,06 + 0,15 = 0,21\, м\ ; \qquad (33)$$

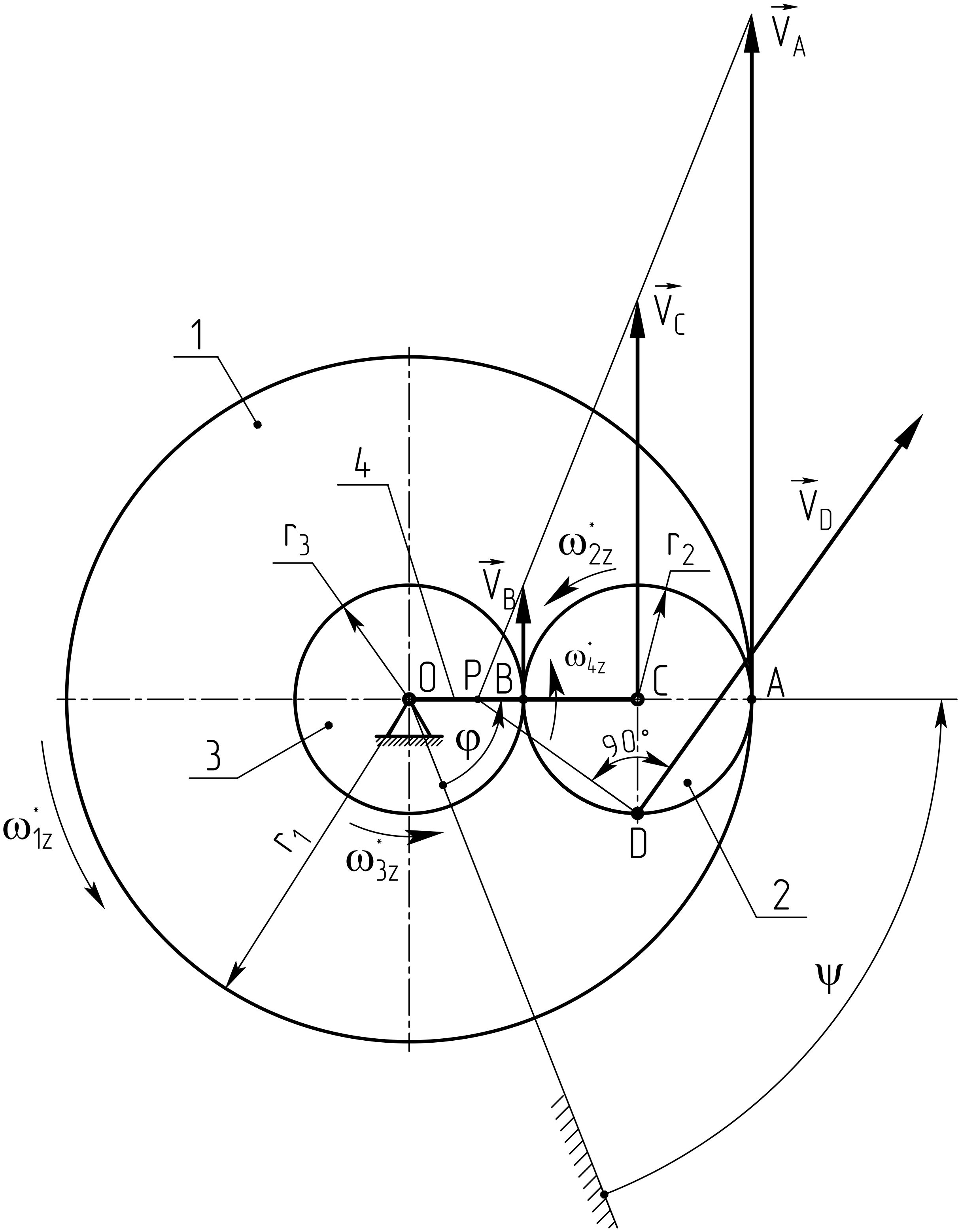
$$PD = \sqrt{PC^2 + CD^2} = \sqrt{PC^2 + r_2^2} = \sqrt{0,21^2 + 0,15^2} = 0,258\, м. \qquad (34)$$

$$V^*_B = \omega^*_{2z} \cdot PB = 2,5 \cdot 0,06 = 0,15\, м/с; \qquad (35)$$

$$V^*_C = \omega^*_{2z} \cdot PC = 2,5 \cdot 0,21 = 0,525\, м/с; \qquad (36)$$

$$V^*_D = \omega^*_{2z} \cdot PD = 2,5 \cdot 0,258 = 0,645\, м/с. \qquad (37)$$

Полученные значения совпадают с полученными ранее.



$\vec{V}_A$
$\vec{V}_C$
$\vec{V}_D$
1
4
r_3
ω^*_{2z}
r_2
$\vec{V}_B$
ω^*_{4z}
O
P
B
C
A
3
φ
90°
D
ω^*_{1z}
r_1
ω^*_{3z}
2
ψ

Рисунок 5

Ранее были определены ускорения точек C и D следующим образом.

Так как точка C вращается вокруг точки O с угловой скоростью ω_{4z}^* и угловым ускорением ε_{4z}^*, то ее ускорение равно:

$$\vec{a}_C^* = \vec{a}_{CO}^{n*} + \vec{a}_{CO}^{\tau*},$$

где

$$a_{CO}^{n*} = \left(\omega_{4z}^*\right)^2 \cdot \left(r_2 + r_3\right) = 1{,}75^2 \cdot \left(0{,}15 + 0{,}15\right) = 0{,}91875\, м/с^2,$$

$$a_{CO}^{\tau*} = \varepsilon_{4z}^* \cdot \left(r_2 + r_3\right) = 1{,}5 \cdot \left(0{,}15 + 0{,}15\right) = 0{,}45\, м/с^2.$$

Поскольку векторы $\vec{a}_{CO}^{n*}$ и $\vec{a}_{CO}^{\tau*}$ взаимно перпендикулярны, то величина ускорения точки C равна:

$$a_C^* = \sqrt{\left(a_{CO}^{n*}\right)^2 + \left(a_{CO}^{\tau*}\right)^2} = \sqrt{0{,}91875^2 + 0{,}45^2} = 1{,}023\, м/с^2.$$

Ускорение точки D можно выразить следующим образом:

$$\vec{a}_D^* = \vec{a}_C^* + \vec{a}_{DC}^* = \vec{a}_{CO}^{n*} + \vec{a}_{CO}^{\tau*} + \vec{a}_{DC}^{n*} + \vec{a}_{DC}^{\tau*},$$

где

$$a_{DC}^{n*} = \left(\omega_{2z}^*\right)^2 \cdot r_2 = 2{,}5^2 \cdot 0{,}15 = 0{,}9375\, м/с^2,$$

$$a_{DC}^{\tau*} = \varepsilon_{2z}^* \cdot r_2 = 3 \cdot 0{,}15 = 0{,}45\, м/с^2.$$

Проведем координатные оси Dxy (рисунок 3) и спроектируем обе части равенства (24) на эти оси. Получим для рассматриваемого момента времени:

$$a_{Dx}^* = -a_{CO}^{n*} + a_{DC}^{\tau*} = -0{,}91875 + 0{,}45 = -0{,}46875\, м/с^2;$$

$$a_{Dy}^* = a_{CO}^{\tau*} + a_{DC}^{n*} = 0{,}45 + 0{,}9375 = 1{,}3875\ м/с^2;$$

$$a_D^* = \sqrt{\left(a_{Dx}^*\right)^2 + \left(a_{Dy}^*\right)^2} = \sqrt{\left(-0{,}46875\right)^2 + 1{,}3875^2} = 1{,}465\, м/с^2. \qquad (25)$$

Положение мгновенного центра ускорений шестерни *2* определим, вычислив:

$$\alpha = arctg \frac{\varepsilon_{2z}^*}{\left(\omega_{2z}^*\right)^2} = arctg \frac{3}{2{,}5^2} = 25{,}641^\circ.$$

Поскольку имеем ускоренное движение, то откладывая угол α от ускорений точек C и D в сторону мгновенного вращения, получим две полупрямые, на пересечении которых лежит мгновенный центр ускорений Q (рисунок 6).

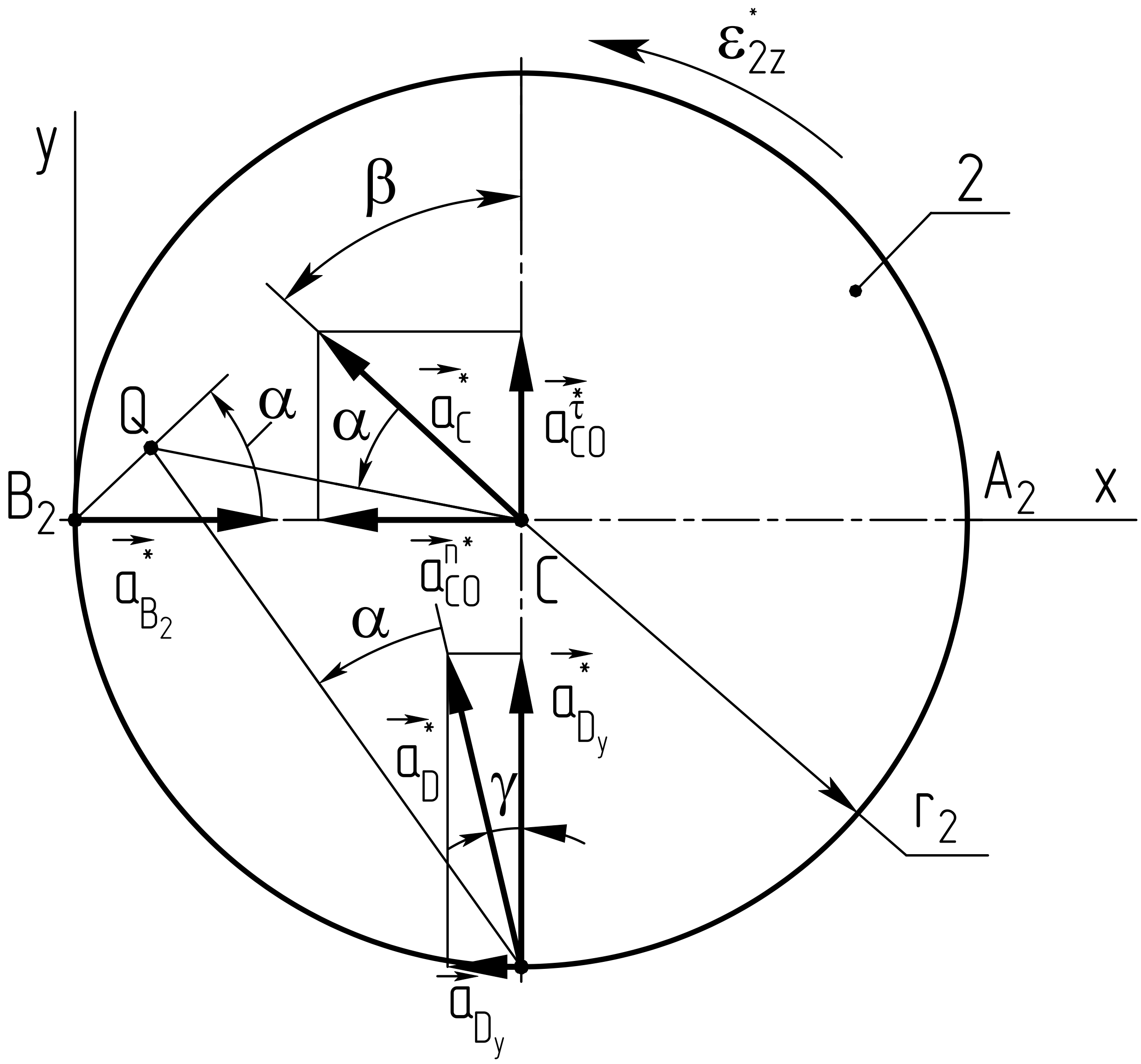


Рисунок 6

Определим расстояние от точки B_2 до мгновенного центра ускорений. Имеем

$$\alpha = 25{,}641^\circ;$$

$$\beta = arctg\frac{a_{CO}^{n*}}{a_{CO}^{\tau*}} = arctg\frac{0{,}91875}{0{,}45} = 63{,}905^\circ;$$

$$\gamma = arctg\frac{\left|a_{Dx}^{*}\right|}{a_{Dy}^{*}} = arctg\frac{0{,}46875}{1{,}3875} = 18{,}667^\circ.$$

Из ΔCDQ получаем:

$$QC = \frac{CD \cdot \sin\angle D}{\sin\angle Q} = \frac{r_2 \cdot \sin(\alpha+\gamma)}{\sin(\alpha+\beta-(\alpha+\gamma))} = \frac{r_2 \cdot \sin(\alpha+\gamma)}{\sin(\beta-\gamma)} =$$

$$= \frac{r_2 \cdot \sin(25,641^\circ + 18,667^\circ)}{\sin(63,905^\circ - 18,667^\circ)} = 0,1476\,м;$$

Из ΔCB_2Q получаем:

$$\angle B_2 = arctg\frac{QC \cdot \sin\angle C}{B_2C - QC\cos\angle C} = arctg\frac{QC \cdot \sin(90^\circ - \alpha - \beta)}{r_2 - QC \cdot \cos(90^\circ - \alpha - \beta)} =$$

$$= arctg\frac{0,1476 \cdot \sin(90^\circ - 25,641^\circ - 63,905^\circ)}{0,15 - 0,1476 \cdot \cos(90^\circ - 25,641^\circ - 63,905^\circ)} = 25,98^\circ \simeq \alpha.$$

Т.е. ускорение $\vec{a}^*_{B_2}$ направлено так, как показано на рисунке 6 – вдоль оси *x*.

$$QB_2 = \frac{QC \cdot \sin\angle C}{\sin\angle B_2} = \frac{QC \cdot \sin(90^\circ - \alpha - \beta)}{\sin\alpha} =$$

$$= \frac{0,1476 \cdot \sin(90^\circ - 25,641 - 63,905^\circ)}{\sin 25,641^\circ} = 0,0027\,м.$$

Ускорение точки B_2 равно:

$$a^*_{B_2} = QB_2 \cdot \sqrt{\left(\varepsilon^*_{2z}\right)^2 + \left(\omega^*_{2z}\right)^4} = 0,0027 \cdot \sqrt{3^2 + 2,5^4} = 0,019\,м/с^2.$$

Полученное значение совпадает с полученным ранее.

Ответ: $V^*_A = 0,9\,м/с$, $V^*_B = 0,15\,м/с$, $V^*_C = 0,525\,м/с$, $\vec{V}^*_D = 0,645\,м/с$,

$a^*_{A_1} = 2,012\,м/с^2$, $a^*_{B_3} = 0,15\,м/с^2$, $a^*_C = 1,023\,м/с^2$,

$a^*_D = 1,465\,м/с^2$, $a^*_{A_2} = 2,063\,м/с^2$, $a^*_{B_2} = 0,019\,м/с^2$

$\omega^*_{1z} = 2\,рад/с$, $\omega^*_{2z} = 2,5\,рад/с$, $\omega^*_{3z} = 1\,рад/с$, $\omega^*_{4z} = 1,75\,рад/с$,

$\varepsilon^*_{1z} = 2\,рад/с^2$, $\varepsilon^*_{2z} = 3\,рад/с^2$, $\varepsilon^*_{3z} = 0$, $\varepsilon^*_{4z} = 1,5\,рад/с^2$.