

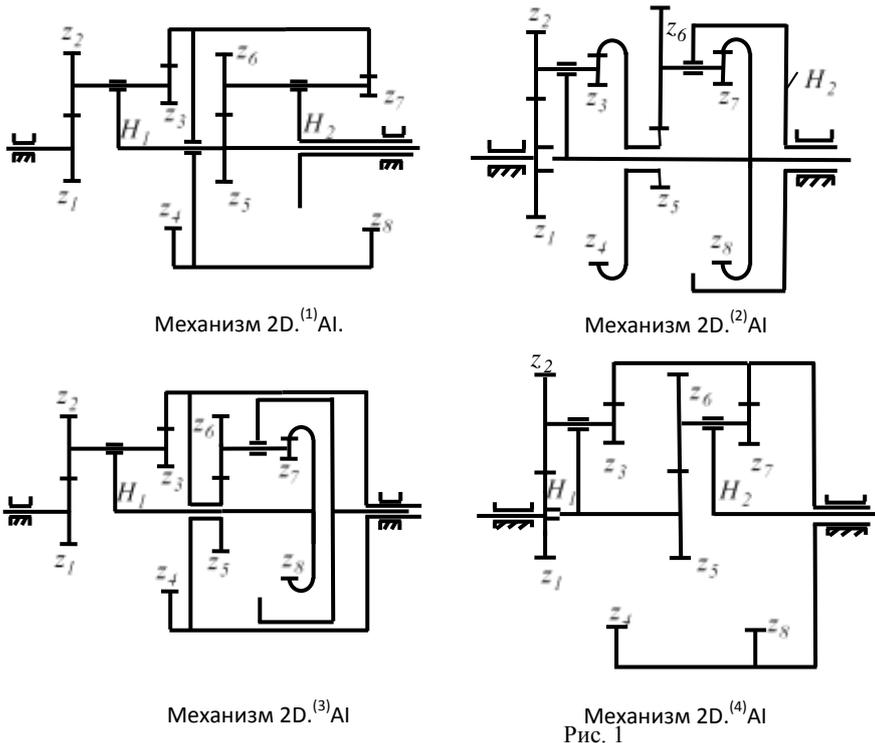
И.Г. ШЕБАНОВ, проф., канд. техн. наук, Национальный аэрокосмический университет “ХАИ” им. Н.Е. Жуковского

К ВОПРОСУ О СИНТЕЗЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ СДВОЕННЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАТОЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ СО СТЕПЕНЬЮ ПОДВИЖНОСТИ $W = 2$ НА БАЗЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛОВ D.AI.

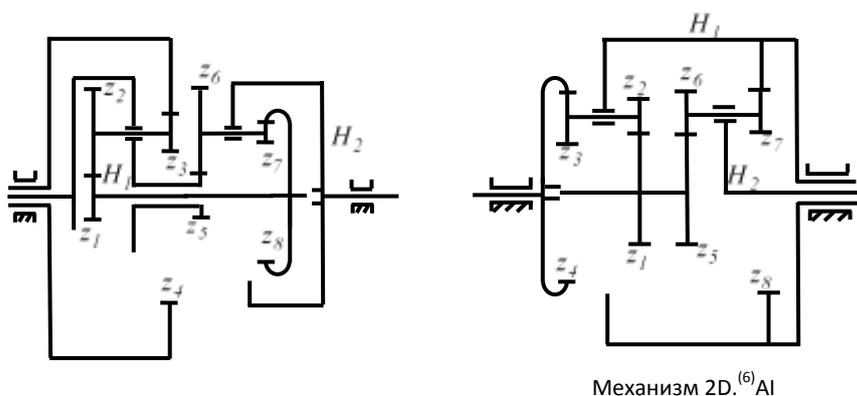
Дослідження раціональних складених зубчастих механізмів з двома ступенями рухомості з двох базових диференціалів типу D.AI.

Research of rational composite planetary mechanisms with two degrees of mobility from two base differentials of a type D.AI.

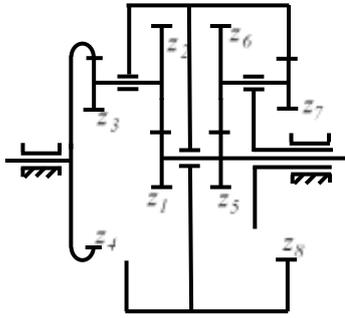
На основе соединения двух базовых дифференциалов D.AI центральными звеньями может быть образован 21 вариант сдвоенных планетарных механизмов со степенью подвижности $W = 2$.



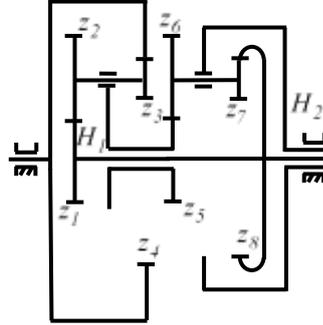
Из всех сдвоенных планетарных механизмов 8 механизмов (2D.⁽¹⁾AI; 2D.⁽²⁾AI; 2D.⁽³⁾AI; 2D.⁽⁴⁾AI; 2D.⁽⁵⁾AI; 2D.⁽⁶⁾AI; 2D.⁽⁷⁾AI; 2D.⁽⁸⁾AI) (рис. 1,2) не имеют в своих замкнутых контурах циркулирующей мощности и с этой точки зрения являются рациональными.



Механизм 2D.⁽⁵⁾AI



Механизм 2D.⁽⁷⁾AI



Механизм 2D.⁽⁸⁾AI

Рис. 2.

Исследования позволяют установить целесообразную применимость этих рациональных механизмов в качестве передаточных устройств при равных по модулю угловых скоростях двух одноименных основных звеньев (табл. 1).

Таблица 1

Тип механизма	Выход-ные (вход-ные) звенья	Угловые скорости при отсутствии генераторных режимов	Передаточные отношения сдвоенных механизмов при равных по модулю угловых скоростях выходных звеньев
1	2	3	4
2D. ⁽¹⁾ AI	z_5, z_1 z_1, H_2 z_5, H_2	$\omega_{H_2} > 0; \omega_5 > 0; \omega_1 = -\omega_5$ $\omega_5 > 0; \omega_1 > 0; \omega_{H_2} = \omega_1$ $\omega_1 > 0; \omega_5 > 0; \omega_{H_2} = -\omega_5$	$i_{H_2 5} = \frac{2 - i_{5H_2}^{(8)} (1 + i_{1H_1}^{(4)})}{i_{5H_2}^{(8)} (1 - i_{1H_1}^{(4)})};$ $i_{51} = 1;$ $i_{15} = \frac{1 - 2i_{1H_1}^{(4)} i_{5H_2}^{(8)} + i_{5H_1}^{(8)}}{1 - i_{5H_2}^{(8)}};$
2D. ⁽²⁾ AI	z_1, H_2 z_8, H_2 z_1, z_8	$\omega_8 > 0; \omega_1 > 0; \omega_{H_2} = \omega_1$ $\omega_1 > 0; \omega_8 > 0; \omega_{H_2} = -\omega_8$ $\omega_{H_2} > 0; \omega_1 = -\omega_8; \omega_8 > 0$	$i_{81} = 1;$ $i_{18} = 2i_{5H_2}^{(8)} (i_{1H_1}^{(4)} - 1) + 1;$ $i_{H_1 8} = \frac{i_{5H_2}^{(8)} (1 - i_{1H_1}^{(4)}) - 2}{i_{5H_2}^{(8)} (1 - i_{1H_1}^{(4)})};$
2D. ⁽³⁾ AI	z_1, z_4 z_1, H_2 H_2, z_4	$\omega_{H_2} > 0; \omega_1 > 0; \omega_4 = \omega_1$ $\omega_4 > 0; \omega_1 = -\omega_{H_2}; \omega_{H_2} > 0$ $\omega_1 > 0; \omega_{H_2} > 0; \omega_4 = -\omega_{H_2}$	$i_{H_2 1} = 1;$ $i_{4H_2} = \frac{i_{1H_1}^{(4)} i_{5H_2}^{(8)} + i_{5H_2}^{(8)} - 1}{i_{1H_1}^{(4)} i_{5H_2}^{(8)} - i_{5H_2}^{(8)} + 1};$

			$i_{1H_2} = -2 \frac{i_{1H_1}^{(4)} i_{5H_2}^{(8)}}{1 - i_{5H_2}^{(8)}} - 1;$
2D. ⁽⁴⁾ AI	z_8, z_1 H_2, z_1 H_2, z_8	$\omega_{H_2} > 0; \omega_8 > 0; \omega_1 = -\omega_8$ $\omega_8 > 0; \omega_{H_2} > 0; \omega_1 = -\omega_{H_2}$ $\omega_1 > 0; \omega_{H_2} > 0; \omega_8 = -\omega_{H_2}$	$i_{H_2 8} = 1;$ $i_{8H_2} = \frac{i_{1H_1}^{(4)} i_{5H_2}^{(8)} + 1}{i_{1H_1}^{(4)} i_{5H_2}^{(8)} - 1};$ $i_{1H_2} = 2i_{1H_1}^{(4)} i_{5H_2}^{(8)} - 1;$

окончание таблицы 1

1	2	3	4
2D. ⁽⁵⁾ AI	z_1, H_2 H_1, z_4 H_2, z_4	$\omega_4 > 0; \omega_1 > 0; \omega_{H_2} = -\omega_1$ $\omega_{H_2} > 0; \omega_{H_1} > 0; \omega_4 = -\omega_{H_1}$ $\omega_{H_1} > 0; \omega_{H_2} > 0; \omega_4 = \omega_{H_2}$	$i_{41} = \frac{1 - i_{1H_1}^{(4)}(1 - i_{5H_2}^{(8)}) + i_{5H_2}^{(8)}}{(1 - i_{1H_1}^{(4)})(1 - i_{5H_2}^{(8)})};$ $i_{H_2 H_1} = \frac{1 - (1 - i_{5H_2}^{(8)}) + (2i_{5H_2}^{(8)} - 1)}{i_{5H_2}^{(8)}};$ $i_{H_1 H_2} = 1;$
2D. ⁽⁶⁾ AI	z_8, z_4 z_4, H_2 z_8, H_2	$\omega_{H_2} > 0; \omega_8 > 0; \omega_4 = -\omega_8$ $\omega_8 > 0; \omega_4 > 0; \omega_{H_2} = \omega_4$ $\omega_4 > 0; \omega_8 > 0; \omega_{H_2} = -\omega_8$	$i_{H_2 8} = \frac{2i_{1H_1}^{(4)} + i_{5H_2}^{(8)} - 2}{i_{5H_2}^{(8)}};$ $i_{84} = 1;$ $i_{48} = \frac{1 - i_{1H_1}^{(4)} - 2i_{5H_2}^{(8)}}{1 - i_{1H_1}^{(4)}};$
2D. ⁽⁷⁾ AI	z_5, H_2 z_5, z_4 z_4, H_2	$\omega_4 > 0; \omega_5 = -\omega_{H_2}; \omega_{H_2} > 0$ $\omega_{H_2} > 0; \omega_5 > 0; \omega_4 = \omega_5$ $\omega_5 > 0; \omega_4 = -\omega_{H_2}; \omega_{H_2} > 0$	$i_{4H_2} = \frac{-1 + i_{5H_2}^{(8)} + i_{1H_1}^{(4)} + i_{1H_1}^{(4)} i_{5H_2}^{(8)}}{1 - i_{5H_2}^{(8)} - i_{1H_1}^{(4)} + i_{1H_1}^{(4)} i_{5H_2}^{(8)}};$ $i_{H_2 5} = 1;$ $i_{5H_2} = -(1 + \frac{2i_{1H_1}^{(4)} i_{5H_2}^{(8)}}{1 - i_{1H_1}^{(4)} i_{5H_2}^{(8)}});$
2D. ⁽⁸⁾ AI	z_4, z_1 H_2, z_1 z_4, H_2	$\omega_{H_2} > 0; \omega_4 > 0; \omega_1 > 0$ $\omega_4 > 0; \omega_{H_2} > 0; \omega_1 = -\omega_{H_2}$ $\omega_1 > 0; \omega_4 = -\omega_{H_2}; \omega_{H_2} > 0$	$i_{H_2 1} = 1;$ $i_{4H_2} = \frac{i_{1H_1}^{(4)} - 2i_{1H_1}^{(4)} i_{5H_2}^{(8)} - 1}{1 - i_{1H_1}^{(4)}};$ $i_{1H_2} = \frac{i_{5H_2}^{(8)} i_{1H_1}^{(4)} + i_{1H_1}^{(4)} - 1}{1 - i_{1H_1}^{(4)} + i_{1H_1}^{(4)} i_{5H_2}^{(8)}}.$

1. Передаточные отношения механизмов. Анализ формул передаточных отношений рациональных сдвоенных механизмов (табл. 1) показывает, что наибольшими областями передаточных отношений обладают механизмы

2D.⁽²⁾AI (рис.1) ($\omega_1 > 0; \omega_8 > 0; \omega_{H_2} = -\omega_8$),

2D.⁽⁴⁾AI (рис.2) ($\omega_1 > 0; \omega_{H_2} > 0; \omega_8 = -\omega_{H_2}$).

Все остальные рациональные механизмы с $i_{kl} \neq 1$ имеют значительно меньшие передаточные отношения. Устройства с $i_{kl} = 1$ (табл.1) дают движения основных звеньев с одинаковыми по модулю скоростями и поэтому полностью нецелесообразны.

Механизмы 2D.⁽²⁾AI, 2D.⁽⁴⁾AI можно рекомендовать для использования в широком диапазоне передаточных отношений при входном звене z_1 и выходных звеньях z_8, H_2 с редукцией движения; при входных звеньях z_2, H_2 и выходном звене z_1 с мультипликацией движения.

Области возможных передаточных отношений (рис. 3, 4) этих механизмов установлены на основе зависимостей

$$i_{18}^{(min)} = 2(i_{5H_2}^{(8)})^{(min)} \left[(i_{1H_1}^{(4)})^{(min)} - 1 \right] + 1, \quad (1)$$

$$i_{1H_2}^{(min)} = 2(i_{1H_1}^{(4)})^{(min)} (i_{5H_2}^{(8)})^{(min)} - 1, \quad (2)$$

где $(i_{1H_1}^{(4)})^{(min)}, (i_{5H_2}^{(8)})^{(min)}$ известны [2].

В интервале $0,4 < x\lambda < 2$ для количества спутников $k = 3, 4, 5$ (рис. 3, 4) диапазон рекомендуемых передаточных отношений составит:

Механизм 2D.⁽²⁾AI
 $k = 3 \quad 5 \leq i_{18} \leq 925,$
 $k = 4 \quad 5 \leq i_{18} \leq 200,$
 $k = 5 \quad 5 \leq i_{18} \leq 98$

Механизм 2D.⁽⁴⁾AI
 $k = 3 \quad 7 \leq i_{1H_2} \leq 967,$
 $k = 4 \quad 7 \leq i_{1H_2} \leq 220,$
 $k = 5 \quad 7 \leq i_{1H_2} \leq 112.$

Полученные области возможных передаточных отношений учитывают уравнения передаточного отношения, соосности и соседства.

Вместе с тем на выбор передаточного отношения существенно влияют коэффициент полезного действия механизма, а также необходимое соотношение моментов, например на выходных валах.

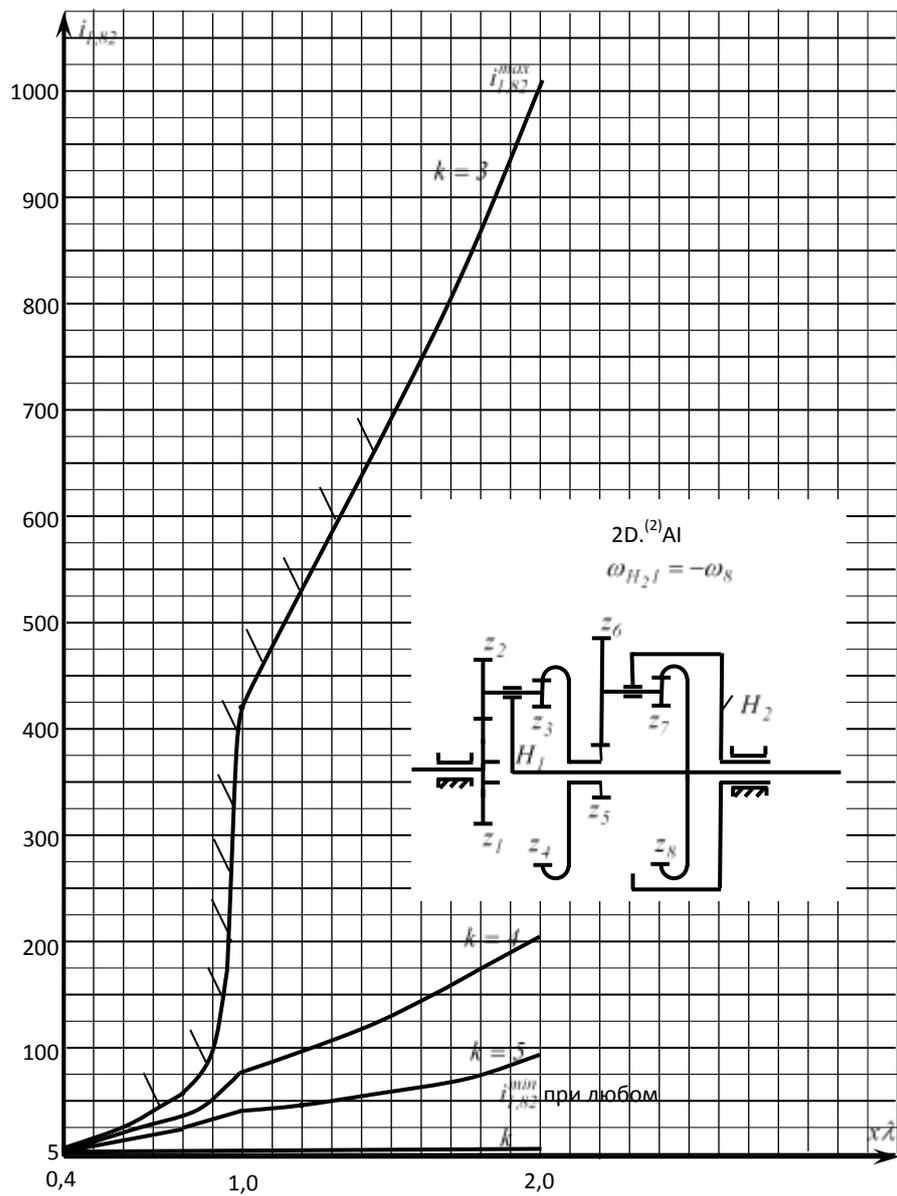


Рис. 3

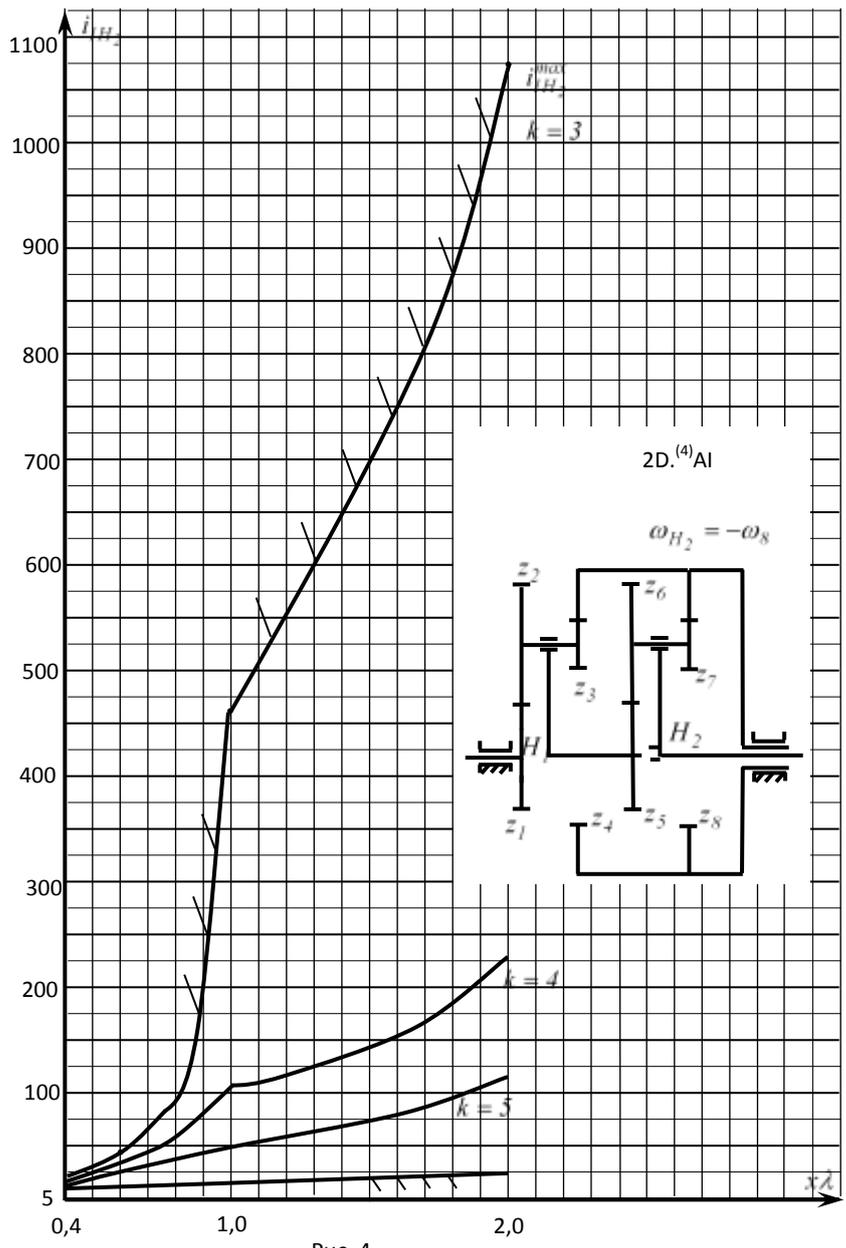


Рис. 4

2. Коэффициент полезного действия механизмов

2.1. Механизм 2D.⁽²⁾AI. При входном звене z_1 и выходных звеньях z_8, H_2 и $\omega_{H_2} = -\omega_8$ КПД механизма может быть определен по формуле

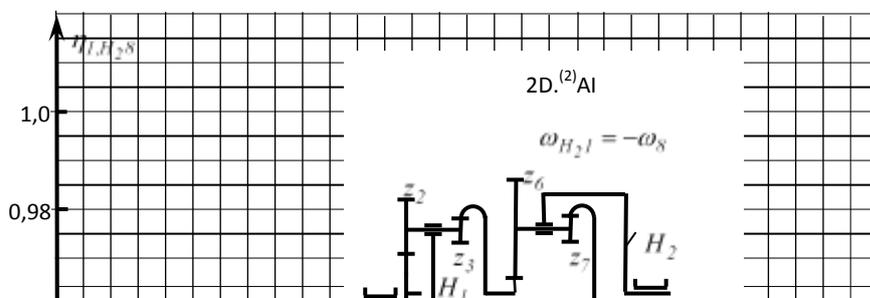
$$\eta_{1,H_2,8} = \frac{N_{H_2} \eta_{1H_2}^{(8)} + N_8 \eta_{18}^{(H_2)}}{N_{H_2} + N_8} = \frac{\eta_{1H_2}^{(8)} + \varphi_{8H_2} \eta_{18}^{(H_2)}}{1 + \varphi_{8H_2}}, \quad (3)$$

где N_{H_2} и N_8 - мощности на звеньях H_2 и z_8 при КПД равном единице;

$\eta_{1H_2}^{(8)}$ и $\eta_{18}^{(H_2)}$ - КПД частных механизмов;

φ_{8H_2} - коэффициент баланса мощностей.

На рис. 5 показана диаграмма $\eta_{1,H_2,8}(i_{18})$.



0,96

0,90

$$\eta_{1H_2}^{(8)} = \eta_{14}^{(H_1)} \eta_{5H_2}^{(8)} = \eta_{14}^{(H_1)} \left(1 - \frac{i_{5H_2}^{(8)} - 1}{i_{5H_2}^{(8)}} \psi_{58}^{(H_2)} \right) \quad (4)$$

$$\eta_{14}^{(H_1)} = 1 - \psi_{14}^{(H_1)};$$

$\psi_{14}^{(H_1)} = \psi_{58}^{(H_2)} = 0,04$ - коэффициенты потерь приведенных механизмов;

$$\varphi_{8H_2} = - \frac{i_{1H_1}^{(4)} + (1 - i_{1H_1}^{(4)}) (1 - i_{5H_2}^{(8)})}{(1 - i_{1H_1}^{(4)}) i_{5H_2}^{(8)}}; \quad (5)$$

$$\eta_{18}^{(H_2)} = \frac{\eta_{1H_1}^{(4)} i_{1H_1}^{(4)} + \eta_{14}^{(H_1)} \eta_{58}^{(H_2)} i_{14}^{(H_1)} i_{58}^{(H_2)}}{i_{18}^{(H_2)}}. \quad (6)$$

2.2. Механизм 2D.⁽⁵⁾AI. При входном звене z_1 и выходных звеньях H_2, z_8 и $\omega_8 \approx -\omega_{H_2}$ КПД механизма может быть определен по формуле

$$\eta_{1,H_2,8} = \frac{N_{H_2} \eta_{1H_2}^{(8)} + N_8 \eta_{18}^{(H_2)}}{N_{H_2} + N_8} = \frac{\eta_{1H_2}^{(8)} + \varphi_{8H_2} \eta_{18}^{(H_2)}}{1 + \varphi_{8H_2}}; \quad (7)$$

где N_{H_2} и N_8 - мощности на звеньях H_2 и z_8 при КПД равном единице;

$\eta_{1H_2}^{(8)}$ и $\eta_{18}^{(H_2)}$ - КПД частных механизмов;

φ_{8H_2} - коэффициент баланса мощностей;

$$\eta_{1H_2}^{(8)} = \eta_{1H_1}^{(4)} \eta_{5H_2}^{(8)} = \left(1 - \frac{i_{1H_1}^{(4)} - 1}{i_{1H_1}^{(4)}} \psi_{14}^{(H_1)} \right) \left(1 - \frac{i_{5H_2}^{(8)} - 1}{i_{5H_2}^{(8)}} \psi_{58}^{(H_2)} \right) \quad (8)$$

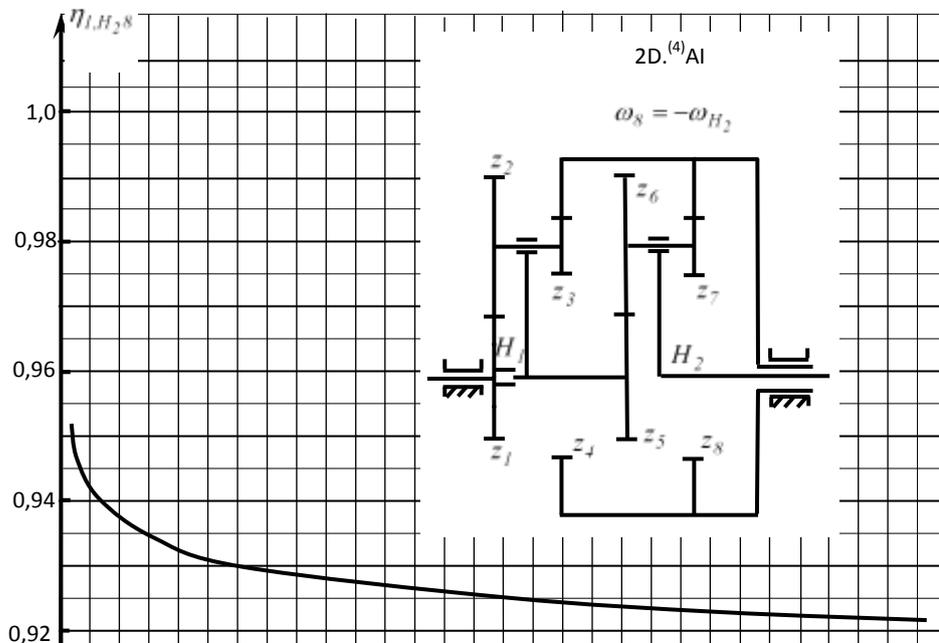
$\psi_{14}^{(H_1)} = \psi_{58}^{(H_2)} = 0,04$ - коэффициенты потерь приведенных механизмов:

$$\varphi_{8H_2} = - \frac{1 - i_{1H_1}^{(4)} i_{5H_2}^{(8)}}{i_{1H_1}^{(4)} i_{5H_2}^{(8)}}; \quad (9)$$

$$\eta_{18}^{(H_2)} = \frac{\eta_{1H_1}^{(4)} \eta_{58}^{(H_2)} i_{1H_1}^{(4)} (1 - i_{5H_2}^{(8)}) + \eta_{14}^{(H_1)} (1 - i_{1H_1}^{(4)})}{i_{18}^{(H_2)}}; \quad (10)$$

$$\eta_{14}^{(H_1)} = 1 - \psi_{14}^{(H_1)}; \quad \eta_{58}^{(H_2)} = 1 - \psi_{58}^{(H_2)}.$$

На рис. 6 показана диаграмма $\eta_{1,H_2,8}(i_{1,H_2})$



Диаграммы $\eta_{1,H_2 8}(i_{18})$ и $\eta_{1,H_2 8}(i_{1,H_2})$ рис. 5,6 показывают, что увеличение передаточного отношения в несколько раз практически не изменяет величину КПД - $\eta_{1,H_2 8}$.

3. Соотношение моментов на выходных валах механизмов.

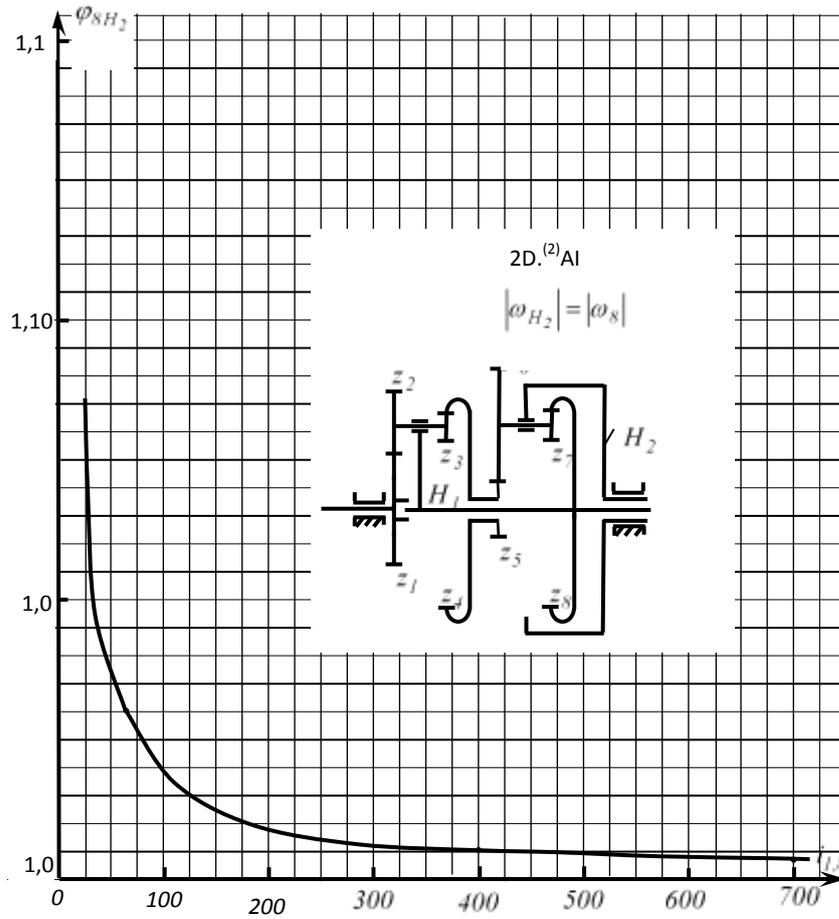
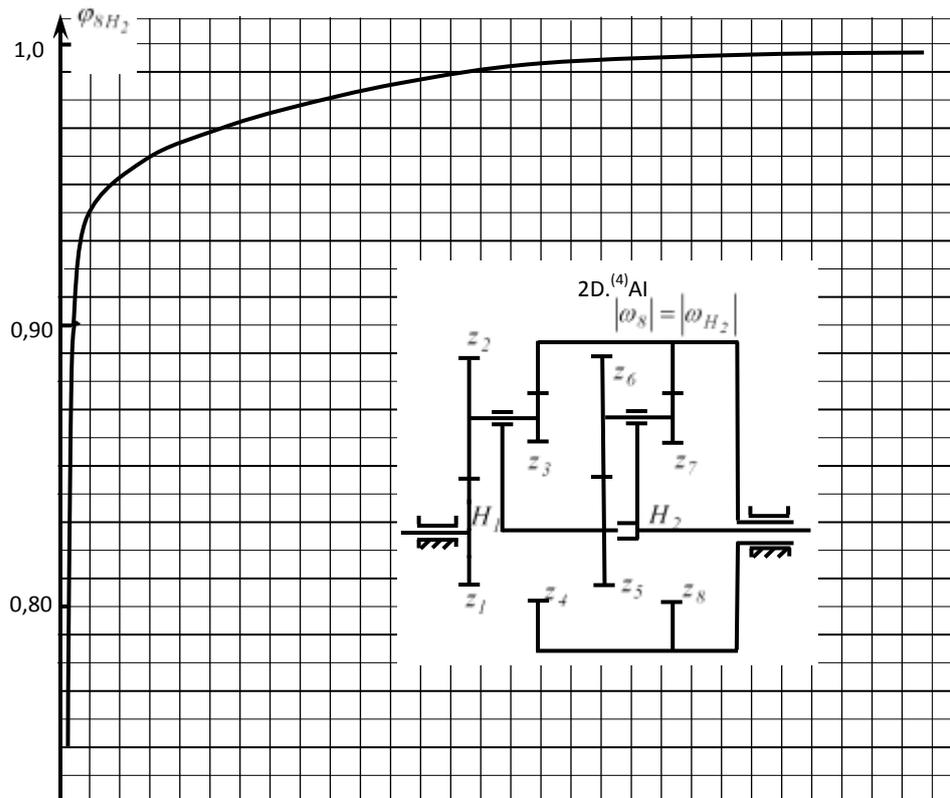


Рис. 7

Соотношение моментов на выходных валах механизмов 2D.⁽²⁾AI, 2D.⁽⁴⁾AI при $\omega_{H_2} = -\omega_8$ могут быть охарактеризованы коэффициентами баланса мощностей φ_{8H_2} . На рис. 7, 8 приведены зависимости $\varphi_{8H_2}(i_{1,8})$ и $\varphi_{8H_2}(i_{1H_2})$ позволяющие учитывать соотношение моментов на выходных валах при синтезе механизмов 2D.⁽²⁾AI и 2D.⁽⁴⁾AI.



Выводы. Рассмотрено образование рациональных сдвоенных планетарных передаточных механизмов со степенью подвижности $W = 2$. Установлены механизмы $2D^{(2)}AI$, $2D^{(4)}AI$ имеющие наибольшие области возможных передаточных отношений.

Для этих механизмов в интервале $0,4 \leq x\lambda \leq 2$ при $\omega_{H_2} = -\omega_8$ рекомендуемый диапазон передаточных отношений составляет:

Механизм 2D.⁽²⁾AI

$$k = 3 \quad 5 \leq i_{18} \leq 925,$$

$$k = 4 \quad 5 \leq i_{18} \leq 200,$$

$$k = 5 \quad 5 \leq i_{18} \leq 98$$

Механизм 2D.⁽⁴⁾AI

$$k = 3 \quad 7 \leq i_{1H_2} \leq 967,$$

$$k = 4 \quad 7 \leq i_{1H_2} \leq 220,$$

$$k = 5 \quad 7 \leq i_{1H_2} \leq 112.$$

Коэффициент полезного действия механизмов 2D.⁽²⁾AI, 2D.⁽⁴⁾AI при $\omega_{H_2} = -\omega_8$ для всех рекомендуемых передаточных отношений превышает $\eta_{1,H_2,8} = 0,92$.

Чем выше передаточные отношения этих механизмов тем ближе соотношение моментов на выходных валах к единице.

Приведенные характеристики позволяют производить обоснованный синтез механизмов 2D.⁽²⁾AI, 2D.⁽⁴⁾AI для приводов различных областей техники (ветроэнергоустановок, роботов, транспортных и строительных машин и т. д.).

Список литературы: 1. *Ткаченко В.А.* Планетарные механизмы. (оптимальное проектирование). Харьков, ХАИ, 2003. 2. *Ткаченко В.А., Шебанов И.Г.* Вопросы синтеза простых дифференциальных зубчатых редукторов для привода воздушных и гребных винтов. Вестник ХГПУ "ХПИ", Х НТУ, 2002. № 10, Т. 3, с. 46-53. 3. *Ткаченко В.А., Шебанов И.Г.* Общий метод кинематического исследования дифференциальных механизмов. Вестник НТУ "ХПИ". Выпуск № 30, с. 94-106. 4. *Кириченко В.И.* Редукторы ТВД и вертолетных двигателей. Харьков, ХАИ, 1978. 5. *Кудрявцев В.Н.* Планетарные передачи. Машиностроение, М-Л, 1968. 6. Теория механизмов и механика машин. Под ред. К.В. Фролова. М., МГТУ, 2002. 7. Многопоточные редукторы. Под общей ред. И.П. Городца. К., Техника, 1983. 8. *Ткаченко В.А., Абрамов В.Т., Коровкин М.Д.* Проектирование планетарных механизмов оптимальных по динамическим характеристикам. Харьков, ХАИ, 1983.

Поступила в редакцию 11.04.05