

**В.А. ТКАЧЕНКО**, проф. к.т.н., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского - "ХАИ"

## **РОЛЬ СОГЛАСУЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛОВ**

It is shown, that the application of matched mechanisms improves performances of differentials and allows to decide a problem of deriving of equal velocities of opposite direction at equal streams of potencies.

Известно, что самостоятельно любой трехзвенный безопорный дифференциал, подчиняясь уравнению моментов

$$T_a + T_b + T_c = 0 \quad (1)$$

где  $a, b$  и  $c$  - подвижные звенья дифференциала, не способен выполнить большое передаточное отношение. Если  $b$  и  $c$  – одновременные звенья дифференциала (два ведущих или два ведомых), то сумма моментов на одноименных звеньях численно равна моменту на звене  $a$  (ведомом или ведущем)  $T_b + T_c = |T_a|$ , а характеристики дифференциала определяются величиной и знаком коэффициента баланса мощностей, проходящих по одноименным ветвям ( $b$  и  $c$ ),

$$\varphi_{c,b} = \frac{N_c}{N_b} = -\frac{1}{i_{cb}^a} \cdot \frac{\omega_c}{\omega_b} \quad (2)$$

Оптимальное проектирование дифференциальных механизмов [1] требует положительности коэффициента баланса  $\varphi_{c,b} > 0$ . Только в этом случае одноименные звенья дифференциала одновременно являются либо ведущими, либо ведомыми и в дифференциальном механизме отсутствуют вредные явления генерации мощности или торможения [2]. Такой механизм может иметь малые относительные скорости звеньев, высокий КПД, повышенную надежность [3].

Для каждой конкретно взятой схемы дифференциального механизма величина передаточного отношения между двумя одноименными звеньями  $i_{cb}^a = \text{const}$  и изменение коэффициента баланса  $\varphi_{c,b}$ , зависит от изменения отношения угловых скоростей этих звеньев (двух ведущих или двух

ведомых). Если отношение  $\frac{\omega_c}{\omega_b}$  будет постоянно, то и потоки мощностей будут фиксировано постоянными через величину  $\varphi_{c,b}$ .

Величина внутреннего передаточного отношения  $i_{cb}^a$  определяет схему дифференциального механизма и в ряде случаев для получения нужного коэффициента баланса  $\varphi_{c,b}$  при фиксированном отношении  $\frac{\omega_c}{\omega_b}$  приводит к нерациональности возможных схем и даже невозможности выполнить требуемую задачу. Например, при  $\omega_c = \omega_b$  и  $\varphi_{c,b} = 1$  возможно применение только симметричных схем дифференциалов, у которых  $i_{cb}^a = -1$ , а при  $\omega_c = -\omega_b$  и  $\varphi_{c,b} = 1$  (механизм соосных винтов) требуется по (2)  $i_{cb}^a = 1$ . Последнее невозможно для всех схем, дифференциальных механизмов.

Применение согласующих механизмов позволяет расширить возможности выбора рациональных схем и решить поставленные задачи оптимального проектирования даже в случае разнонаправленных угловых скоростей выходных звеньев и равных потоках мощностей ( $\varphi_{c,b} = 1$ ).

Пусть согласующие механизмы установлены в обеих ветвях с одноименными звеньями  $b$  и  $c$ . Обозначим выходные звенья согласующих механизмов через  $f$  и  $g$ . Их угловые скорости  $\omega_f = \omega_c i_{fc}$  и  $\omega_g = \omega_b i_{gb}$ . Тогда коэффициент баланса (2) получит вид

$$\varphi_{c,b} = \varphi_{f,g} = -\frac{1}{i_{cb}^a} \cdot \frac{\omega_c}{\omega_b} = -\frac{1}{i_{fc} i_{cb}^a i_{bg}} \cdot \frac{\omega_f}{\omega_g} > 0 \quad (3)$$

Заданные величины  $\omega_f/\omega_g$  и  $\varphi_{f,g}$  определяют общее передаточное отношение  $i_{fg} = i_{fc} i_{cb}^a i_{bg}$  между выходными звеньями  $f$  и  $g$ , которому должны удовлетворять передаточные отношения согласующих механизмов и самого дифференциального механизма. Последнее ( $i_{cb}^a$ ) в отличие от случая применения дифференциала без согласующих механизмов может быть как положительным, так и отрицательным независимо от знака отношения  $\omega_f/\omega_g$ . Даже невозможный случай  $\omega_c = -\omega_b$  и  $\varphi_{c,b} = 1$  осуществим, так как теперь  $\omega_f = -\omega_g$  и  $\varphi_{f,g} = 1$  требуют  $i_{fg} = i_{fc} i_{cb}^a i_{bg} = 1$ , и, следовательно, внутреннее передаточное отношение  $i_{cb}^a$  может быть как положительным, так и отрицательным и не равным единице.

Обычно достаточно установить согласующий механизм в одной из одноименных ветвей чтобы решить задачу выбора оптимальной схемы дифференциального механизма и приступить к оптимальному проектированию выбранной схемы, отвечающей определенному базовому планетарному механизму [4].

Положительность коэффициента баланса мощностей  $\varphi_{c,b} > 0$  требует вполне определенных схем включения дифференциала из шести возможных: трех при ведущем а и ведомых b и с и трех при ведомом а и одноименных ведущих b и с.

В таблице представлены все возможные схемы включения, полученные в результате анализа дифференциальных схем на базе простых планетарных (AA, II, AI, AĪ). Схемы типа CD... и AD... дают вращение одноименных звеньев в разные стороны ( $\omega_c/\omega_b < 0$ ), а схемы типа PD... и HD... - в одну сторону ( $\omega_c/\omega_b > 0$ ). Последние три знака определяют для каждой схемы номер звена а и место установки согласующего механизма (СН - в ветви водила Н, С1 - в ветви центрального колеса  $z_1$ , С4 - в ветви центрального колеса  $z_4$ ).

Последняя зависимость позволяет применить в качестве согласующего механизм, подобный по схеме дифференциальному механизму при одинаковых числах зубьев, что целесообразно как по конструктивным, так и по технологическим причинам.

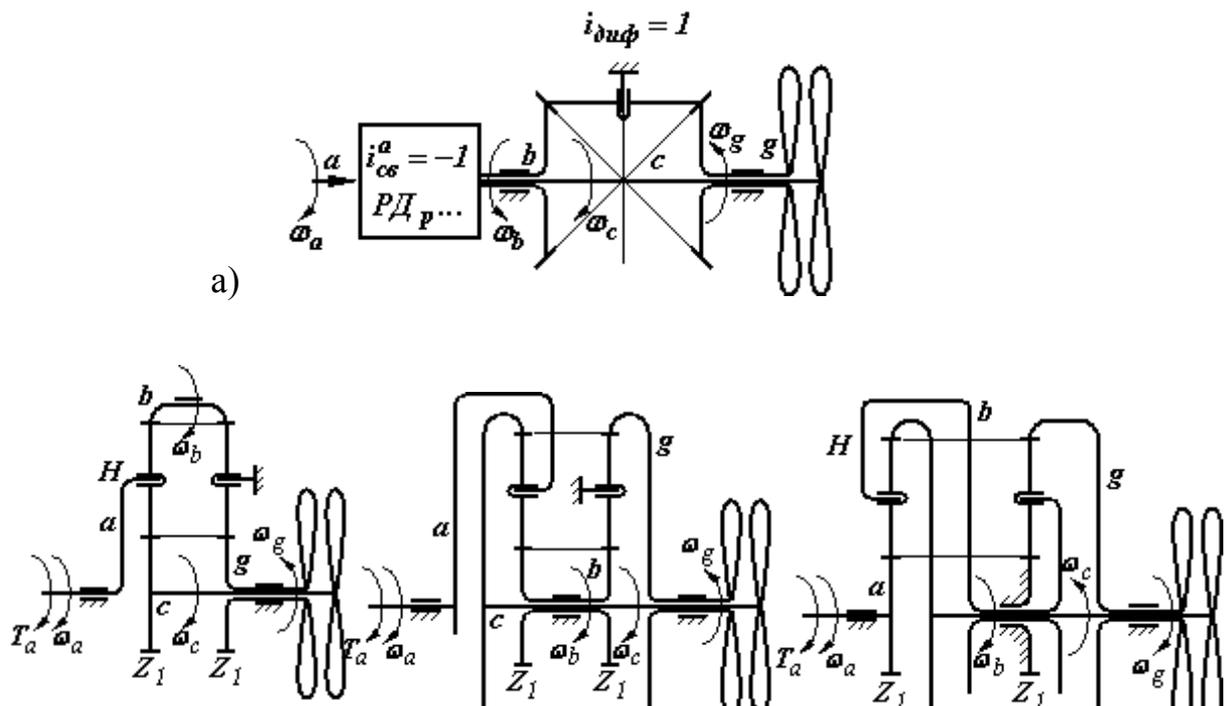
Рассмотрим на примере AĪ - механизма принцип построения схем с одним согласующим механизмом. Из таблицы видно, что при одном ведущем звене а (и двух одноименных ведомых b и с) возможно создание дифференциалов как с разнонаправленными угловыми скоростями ведомых звеньев b и с (типа CD.AĪ...) так и с однонаправленными угловыми скоростями (типа PD.AĪ...). Ведущим звеном в первом случае могут быть центральные колеса  $z_1$  или  $z_4$ , во втором случае - только водило Н. Согласующий механизм может быть расположен в одной из двух одноименных ведомых ветвей дифференциала с передаточным отношением, отвечающим уравнению (4) или уравнению (5). Всего образуется шесть схем, которые для соосных винтов ( $\omega_c = -\omega_g$  и  $\varphi_{c,b} = 1$ ) показаны на рис. 1, б, в, г, д, е, ж.

Таблица

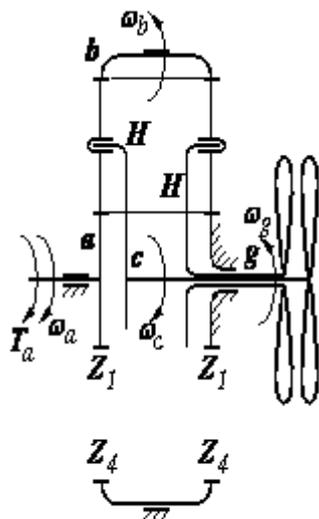
Схемы дифференциальных механизмов на базе простых планетарных с согласующими механизмами в ветви b и их передаточные отношения при  $\omega_c = -\omega_g$ ,  $0,5 \leq x\lambda \frac{r_{W2}}{r_{W3}} \leq 2$  и числе сателлитов  $k = 3$ .

а - ведущее звено		а - ведомое звено	
Схема	$i_{ac} = -i_{ag}$	Схема	$i_{ca} = -i_{ga}$
CD.AA.HC1	-200...-0,25 0,25...200	AD.AA.HC1	- 4... - 0,01 0,01...0,45

CD.AA.HC4	- 100... - 2,6 2,3...100	AD.AA.HC4	- 4...- 0,01 0,01...0,4
CD.II.HC1	- 100... - 1,1 0,2...100	AD.II.HC1	- 0,9... - 0,01 0,01...5
CD.II.HC4	-100...-2,3 4...100	AD.II.HC4	- 0,45... - 0,1 0,01...0,25
CD.AI.1C4	3,1...44	AD.AI.1C4	0,02...0,3
CD.AI.1CH	-42...-1,1	AD.AI.1CH	- 0,9... - 0,02
CD.AI.4C1	2,1...5,6	AD.AI.4C1	0,18...0,5
CD.AI.4CH	-3,7...- 8,1	AD.AI.4CH	- 11... - 0,29
CD. $\bar{A}I$ .1C4	3,1...44	AD. $\bar{A}I$ .1C4	0,04...0,25
CD. $\bar{A}I$ .1CH	-42...-1,1	AD. $\bar{A}I$ .1CH	- 0,5... - 0,04
CD. $\bar{A}I$ .4C1	2,2... 4	AD. $\bar{A}I$ .4C1	0,25...0,5
CD. $\bar{A}I$ .4CH	-2...- 0,15	AD. $\bar{A}I$ .4CH	- 6... - 0,5
PD.AI.HC1	0,7...1,9	HD.AI.HC1	0,51...1,4
PD.AI.HC4	0,1...1,25	HD.AI.HC4	0,5...10
PD. $\bar{A}I$ .HC1	1...2	HD. $\bar{A}I$ .HC1	0,57...1
PD. $\bar{A}I$ .HC4	0,15...1	HD. $\bar{A}I$ .HC4	1...6,5
$x\lambda > 1$		$x\lambda > 1$	
CD.AA.1C4	- 15... - 0,25	AD.AA.1C4	- 4... - 0,06
CD.AA.1CH	7...16,5	AD.AA.1CH	0,07...0,5
CD.II.1C4	- 1,8... - 0,25	AD.II.1C4	- 4... - 0,6
CD.II.1CH	0,18...2	AD.II.1CH	0,5...5,1
PD.AA.4C1	0,2...1,75	HD.AA.4C1	0,57...5
PD.AA.4CH	0,25...2	HD.AA.4CH	0,4...4
PD.II.4C1	0,25...2	HD.II.4C1	1...4
PD.II.4CH	1,1...2	HD.II.4CH	0,5...0,98



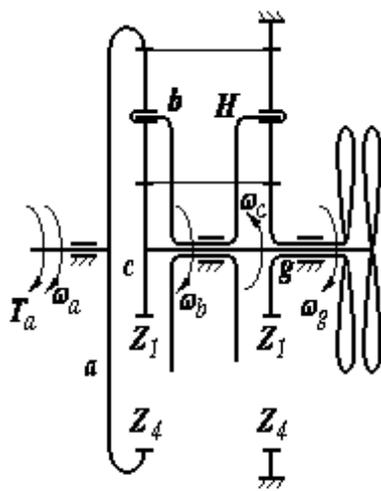
б) РД.АІ.НС4



$$4 < i_{ac} = 2i_{1H}^4 < 26$$

д) СД.АІ.1С4

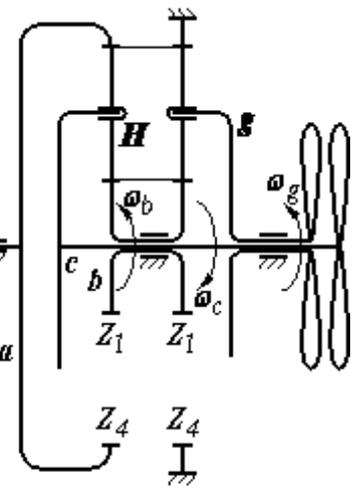
в) РД.АІ.НС1



$$-2 < i_{ac} = \frac{2}{1 - i_{1H}^4} < -0,15$$

е) СД.АІ.4СН

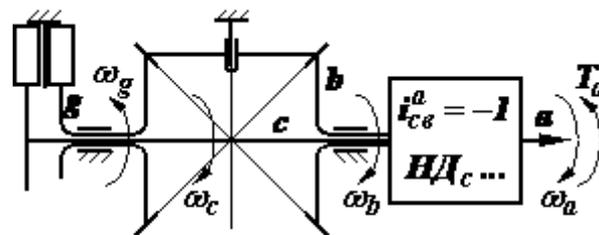
г) СД.АІ.1СН



$$2,2 < i_{ac} = 2 \frac{i_{1H}^4}{i_{1H}^4 - 1} < 4$$

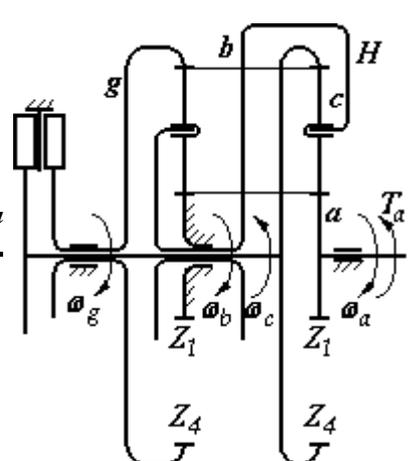
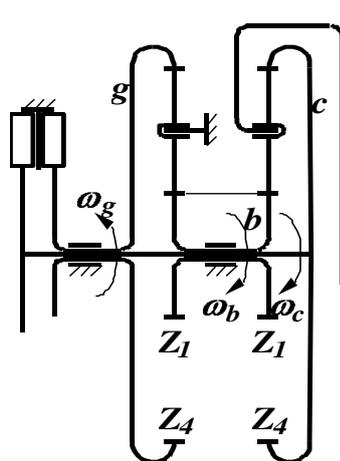
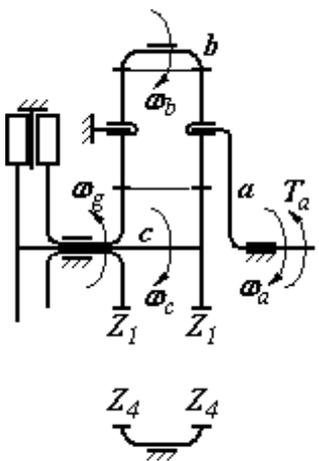
ж) СД.АІ.4С1

Рис.1



а)

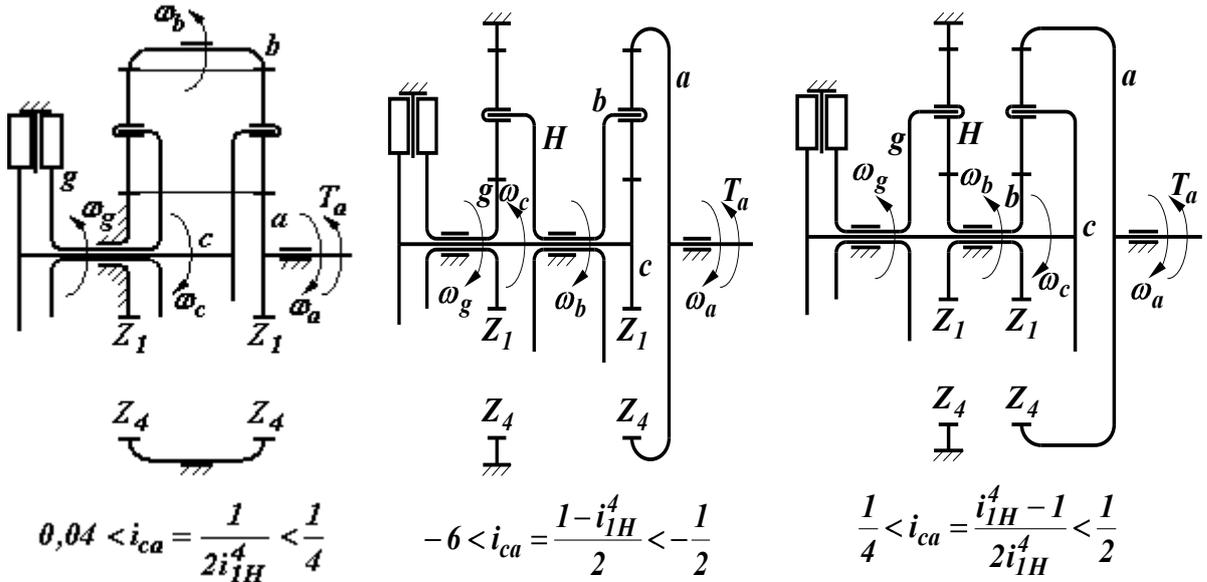
$$i_{диф} = 1$$



б) НД.АІ.НС4

в) НД.АІ.НС1

г) АД.АІ.1СН



д) АД.АІ.1С4

е) АД.АІ.4СН

ж) АД.АІ.4С1

Рис.2

Применение согласующего механизма позволяет попутно решить задачу редукции или мультипликации угловой скорости звена а дифференциала. Для примера такие возможные передаточные отношения дифференциальных

механизмов  $i_{ac} = -i_{ag} = \frac{1+i_{cb}^a i_{bg}}{1-i_{cb}^a}$  в случае  $\omega_c = -\omega_g$  приведены в таблице.

Для одного согласующего механизма (например, в цепи б)

$$i_{fg} = i_{cg} = i_{cb}^a i_{bg} = -\frac{1}{\varphi_{c,b}} \cdot \frac{\omega_c}{\omega_g}, \quad (4)$$

которое при  $\omega_c = -\omega_g$  и  $\varphi_{c,b} = 1$  дает  $i_{cg} = i_{cb}^a i_{bg} = 1$ .

Отсюда

$$i_{cb}^a = \frac{1}{i_{bg}} = i_{gb} \quad (5)$$

Аналогично при ведомом звене а и двух ведущих б и с возможно применение как дифференциалов типа АД.АІ... так и дифференциалов типа НД.АІ... Также образуется три схемы включения (АД.АІ.1..., АД.АІ.4... и

$\overline{HD.AI.H...}$ ), дающие шесть вариантов расположения согласующих механизмов, которые для случая  $\omega_c = -\omega_g$  и  $\varphi_{c,b} = 1$  (привод от двухроторного двигателя) приведены на рис. 2, б, в, г, д, е, ж.

При отсутствии редукции (мультипликации) возможно применение симметричных дифференциалов повышенной надежности (типа  $\overline{HD}_c...$  или  $\overline{PD}_p...$ ) любой схемы с согласующим механизмом при  $i_{gb} = -1$  ( $\overline{KA\bar{I}}, 2A - \overline{AA}$  и др.). Такие схемы приведены на рис. 1,а и рис. 2,а.

Можно отметить общие закономерности построения механизмов при  $\omega_c = -\omega_g$ ,  $\varphi_{c,g} = 1$  и расположении согласующего механизма в цепи  $b$ :

- при двух ведомых звеньях дифференциал располагается на входе (на стороне ведущего звена), а при двух ведущих звеньях – на выходе;
- неподвижное (опорное) звено согласующего механизма такое же, как и звено  $a$  дифференциала (ведущее или ведомое);
- парно ведомыми или ведущими являются одноименные звенья дифференциала и согласующего механизма (либо оба водила, либо оба венца, либо обе центральные шестерни);
- третьи центральные одноименные звенья ( $b$ ) обоих механизмов соединяются между собой.

**Список литературы:** 1. *Ткаченко В.А., Саприкін В.М., Шебанов І.Г.* Синтез диференціалів різного призначення, Вісник технологічного університету Поділля, ч. 1, 2002, 26-31. 2. *Ткаченко В.А., Шебанов І.Г.* Вопросы синтеза простых дифференциальных зубчатых редукторов для привода воздушных и гребных винтов, Вестник НТУ – “ХПИ” № 10, 2002, с. 46-53. 3. *Ткаченко В.А.* Сравнительная надежность механизмов при различной кратности резервирования, Вестник НТУ – “ХПИ” № 12, 2001, с. 126-133. 4. *Ткаченко В.А., Абрамов В.Т., Коровкин М.Д.* Проектирование планетарных механизмов, оптимальных по динамическим характеристикам, ХАИ, 1983, 112 с.