

В.А. ТКАЧЕНКО, проф. к.т.н., **И.Г. ШЕБАНОВ**, проф. к.т.н. –
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского –
«ХАИ»

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ С ПАРНЫМИ РАДИАЛЬНО РАЗМЕЩЕННЫМИ САТЕЛЛИТАМИ ДЛЯ ПРИВОДА СООСНЫХ ВИНТОВ

The techniques of installation of areas of possible transfer ratios presence of a circulating potency and general of a condition of differential mechanisms with schemes are given.

При синтезе дифференциальных механизмов с парными радиально размещенными сателлитами для привода соосных винтов необходимо удовлетворить ряду условий. Эти условия в полной мере до сих пор не определены, что сдерживает использование данных механизмов на практике. К числу таких проблемных вопросов относятся: установление областей передаточных отношений, определение потоков мощностей, установление наличия циркулирующих мощностей в контурах с рожками водила и генераторных режимов в цепях ведомых звеньев.

Для исследования дифференциальный механизм с парными сателлитами заменяется эквивалентным ему замкнутым дифференциальным механизмом [1]. В состав выражения для передаточного отношения эквивалентного механизма, которое возможно только при известном отношении угловых скоростей двух одноименных звеньев (ведущих или ведомых), входят передаточные отношения условных простых планетарных механизмов.

Так как области возможных передаточных отношений простых планетарных механизмов известны [2], устанавливается соответствующая область для эквивалентного дифференциального механизма, а, значит, и для дифференциального механизма с парными сателлитами.

При $\omega_H = -\omega_6$ и ведущем Z_1 , не входящем в замкнутую цепь, используется следующая зависимость [3]

$$\begin{aligned} i_{1H} &= 2i_{1H}^6 - 1 = 1 - 2i_{16}^H = 1 - i_{1\mathcal{E}}^{H\Gamma} i_{\mathcal{E}6}^{H\Gamma} = \\ &= 1 - 2 \frac{1 - i_{1H\Gamma}^{\mathcal{E}}}{1 - i_{\mathcal{E}H\Gamma}^6} \end{aligned} \quad (1)$$

где Нл и Нп – левый и правый рожек водила, являющегося одним звеном во всех механизмах с парными сателлитами.

Передаточные отношения входящих простых планетарных механизмов $i_{1Нл}^{\ominus}$ и $i_{1Нп}^{\oplus}$ зависят от своих параметров $x_1\lambda_1$ и $x_2\lambda_2$ и определяют в общем случае пространственную область передаточных отношений для механизмов с парными сателлитами $i_{1Н}$ $x_1\lambda_1$, $x_2\lambda_2$ при заданном отношении скоростей двух ведомых звеньев $i_{Н6} = \omega_Н / \omega_6$.

На рис.1 и 2 показаны примеры областей $i_{1Н}$ для механизмов Д.2I₄-АI.1 ($a_{w56} < a_{w12}$) и Д.2А-АА.1 ($a_{w56} > a_{w12}$) при $x_1\lambda_1 = x_2\lambda_2 = x\lambda$ (бисекторное сечение пространственной области).

Аналогичные области могут быть получены для других типов дифференциальных механизмов с парными сателлитами и использованы при решении задач синтеза.

Реальные потоки мощностей, циркуляция мощности, наличие генераторных режимов зависят от конкретно взятой схемы дифференциального механизма с парными сателлитами, характера расположения в нем сателлитов (дальнее расположение сателлита $Z_4 - Z_5$, когда $a_{w56} > a_{w12}$ или ближнее, когда $a_{w56} < a_{w12}$), величин параметров $x_1\lambda_1$ и $x_2\lambda_2$, а также от вида ведущего звена: центральное колесо, не входящее в замыкающую цепь или водило, которое всегда входит в цепь замыкания.

Для любого эквивалентного механизма (см., например, рис. 3,б) справедливы две зависимости, полученные из формул Виллиса:

$$\omega_1 = i_{13}^{(Нл)} \omega_3 + (1 - i_{13}^{(Нп)}) \omega_Н \quad (2)$$

$$\omega_3 = i_{36}^{(Нп)} \omega_6 + (1 - i_{36}^{(Нл)}) \omega_Н \quad (3)$$

Отсюда

$$\omega_1 = i_{13}^{(Нл);(Нп)} i_{36}^{(Нп)} \omega_6 + i_{13}^{(Нл)} (1 - i_{36}^{(Нп)}) \omega_Н + (1 - i_{13}^{(Нл)}) \omega_Н, \quad (4) \text{ или}$$

$$\omega_1 = i_{1Нл}^{(\ominus)} \omega_Н + i_{1Нп}^{(\oplus)} \omega_Н + i_{16}^{(Н)} \omega_6 \quad (5)$$

Зависимость (5) отражает трёхпоточность любой схемы механизма с парными сателлитами и не зависит от того, какие из звеньев (одно или два) входные или выходные.

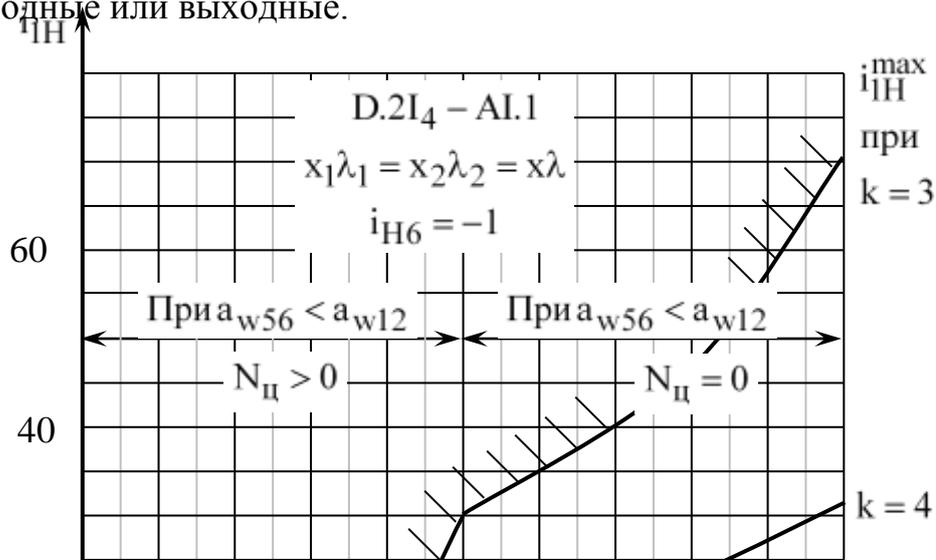


Рис.1

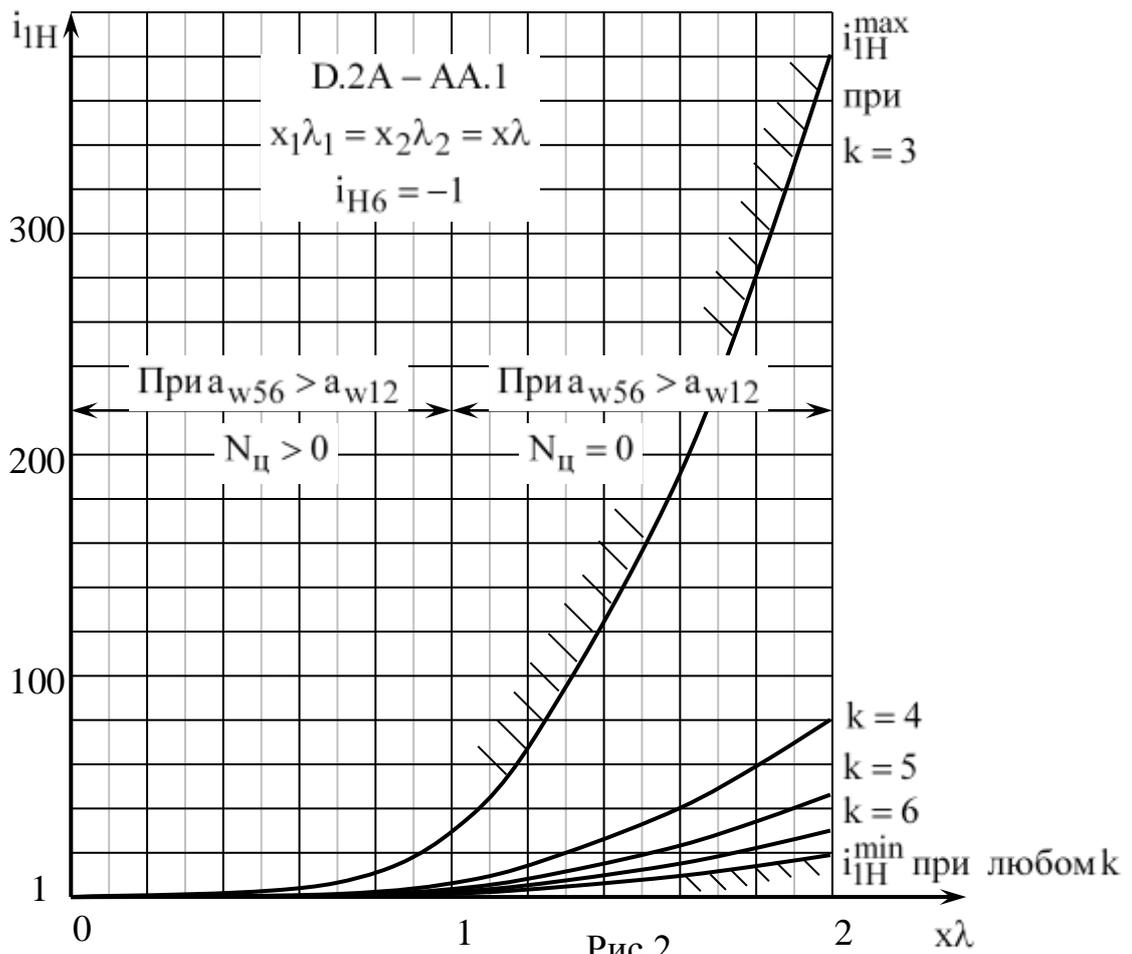
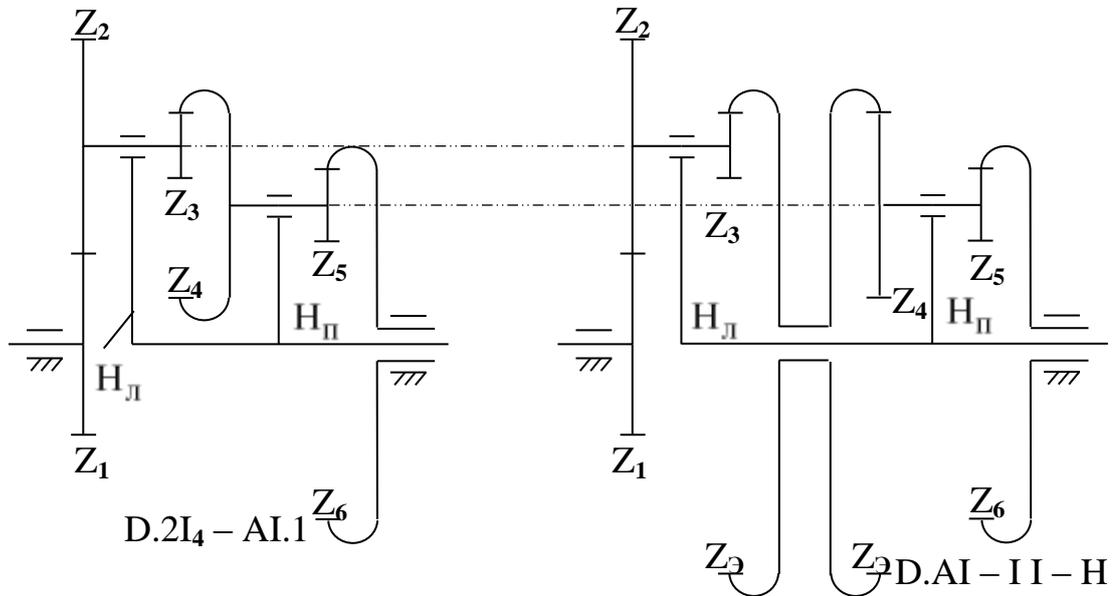


Рис.2



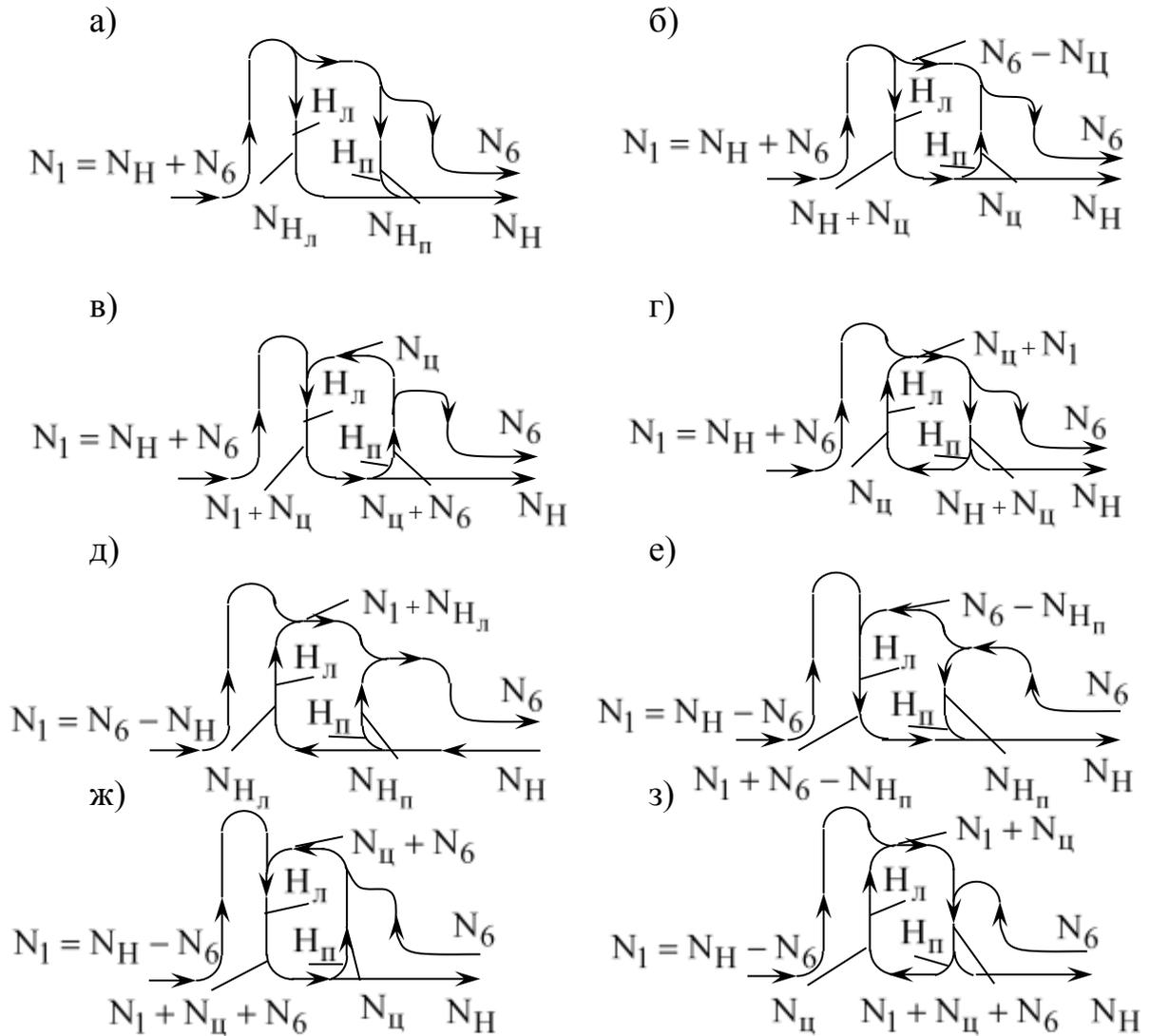


Рис.3

Если в зависимости (5) умножить все слагаемые на величину крутящего момента T_1 , то получим уравнение мощностей, проходящих по ветвям механизма,

$$N_1 = N_{Hл} + N_{Hп} + N_6 \quad (6)$$

Совпадение знаков мощностей $N_{Hл}/N_1 > 0$ и $N_{Hп}/N_1 > 0$ указывает на отсутствие циркуляции (встречного потока по ветви) или генерации мощности (при $N_6/N_1 > 0$ и $\frac{N_6}{N_{Hл} + N_{Hп}} > 0$). Это правило справедливо и для знаков слагаемых в зависимости (5).

На рис. 3, в, г, д, е, ж, з, и, к показаны восемь из десяти возможных вариантов потоков мощностей для любого дифференциального механизма при $\omega_H/\omega_6 < 0$ и ведущем звене Z_1 .

При отсутствии циркуляции мощности в контуре $HлНпZ_4Z_3Z_2$ механизма и генераторного режима в контурах с выходными звеньями H и Z_6 поток мощности $N_1 = T_1\omega_1$ после зацепления $Z_1 - Z_2$ разветвляется по трем направлениям (рис. 3, в) : в сторону $Hл$; через $Z_3 - Z_3 - Z_4$ в сторону $Hп$ и через зацепления $Z_5 - Z_6$ к ведомому звену Z_6 . Первые два потока соединяются на ведомом водиле.

При наличии циркулирующей мощности внутри механизма возможны два варианта потоков в контуре $HлНпZ_1Z_3Z_2$ (рис. 3, г, д).

Аналитически наличие циркулирующей мощности определяется следующим образом. Если $i_{1Hп}^{(Hп,6)}\omega_H < 0$ при $i_{1Hп}^{(\ominus)}\omega_H > 0$ и $i_{16}^{(H)}\omega_6 > 0$, то по водилу $Hп$ проходит обратный (встречный) поток мощности (рис. 3, г, д). Если отрицательно только слагаемое $i_{1Hл}^{(\ominus)}\omega_H < 0$ то потоки мощностей отвечают рис. 3, е. При двух отрицательных слагаемых $i_{1Hл}^{(\ominus)}\omega_H < 0$ и $i_{1Hп}^{(Hп,6)}\omega_H < 0$, а при положительном $i_{16}^{(H)}\omega_6 > 0$ образуются два вредных потока мощности с генераторными режимами между водилами и ведомыми звеньями (рис. 3, ж). Если в число отрицательных слагаемых входит $i_{16}^{(H)}\omega_6 < 0$, то кроме контура с генераторным режимом, включающим ведомые звенья, (рис. 3, з), образуются еще два контура с циркуляцией мощности (рис. 3, и, к). Возможны также два контура с генерацией и циркуляцией при $N_H < 0$.

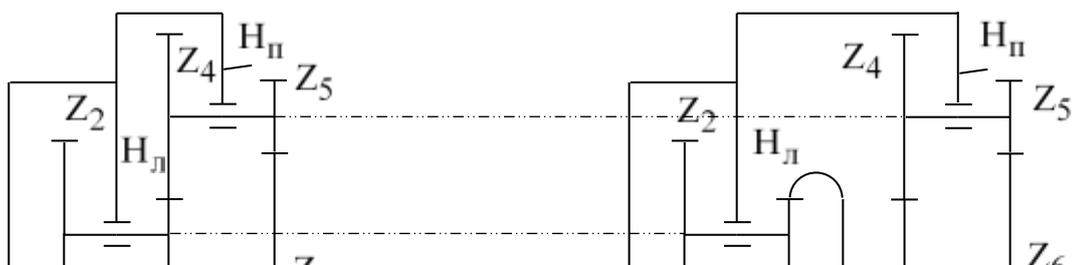
Приведенный в качестве примера механизм Д.2I₄-AI.1 имеет $i_{1Hл}^{(\ominus)}\omega_H > 0$, $i_{16}^{(H)}\omega_6 > 0$, а $i_{1Hп}^{(Hп,6)}\omega_H > 0$ при $x_2\lambda_2 > 1$ и $i_{1Hп}^{(Hп,6)}\omega_H < 0$ при $x_2\lambda_2 < 1$. В первом случае (при $x_2\lambda_2 > 1$) циркулирующей мощности и генераторного режима в механизме нет (рис. 3, в). Во втором случае ($x_2\lambda_2 < 1$) в механизме возникает циркулирующая мощность в ветви $Hп$ (рис. 3, г).

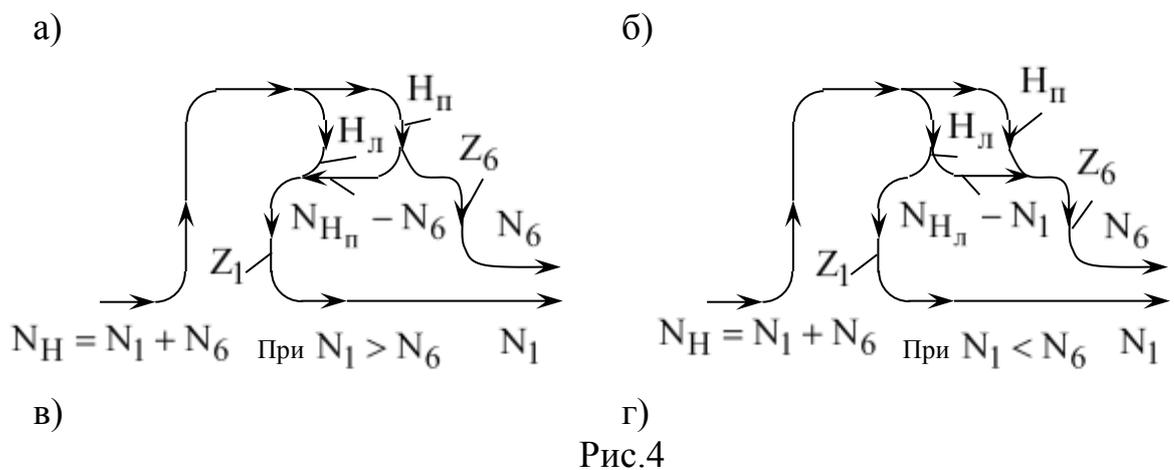
При ведущем водиле H (см. пример механизма Д.2А-АА-Н на рис. 4, а, б) зависимость (5) удобнее переписать в виде

$$i_{1Hл}^{(\ominus)}\omega_H + i_{1Hп}^{(Hп,6)}\omega_H = \omega_1 - i_{16}^{(H)}\omega_6. \quad (7)$$

После умножения на T_1 будем иметь

$$N_{Hл} + N_{Hп} = N_1 + N_6 \quad (8)$$





Через рожок водила Нл передается мощность $N_{Нл} = T_1 i_{1\ominus}^{Hл} \omega_H = T_1 i_{1Hл} \omega_H$, через рожок Нп- $N_{Нп} = T_1 i_{1\ominus}^{Hл} i_{\ominus 6}^{Hп} \omega_H = T_1 i_{1Hп}^{Hл,6} \omega_H$, через ведомые звенья $N_1 = T_1 \omega_1$; $N_6 = -T_1 i_{1\ominus}^{Hл} i_{\ominus 6}^{Hп} \omega_6 = -T_1 i_{16}^{Hл} \omega_6$

Если $N_{Нл} > 0$ и $N_{Нп} > 0$ циркулирующей мощности в замкнутом контуре механизма нет. Два возможных варианта потоков мощностей без циркуляции и генерации показаны на рис.4,в, г.

Аналогично предыдущему случаю (рис. 3) возможны несколько потоков с циркуляцией мощности между рожками водила и зацеплением $Z_3 - Z_4$, несколько потоков генерации мощности между ведомыми звеньями Z_1 и Z_6 либо с участием водила, либо без него, а также потоки с одновременным участием, как циркуляции, так и генерации мощности.

Механизм на рис.4,а, б по зависимости (7) дает для обоих вариантов ($\omega_6 > 0, \omega_H < 0$ и $\omega_6 < 0, \omega_H > 0$) генераторные режимы, а при $x_2 \lambda_2 < 1$ еще и циркулирующую мощность. Поэтому он полностью не рационален для

применения в условиях разнонаправленных угловых скоростей ведомых звеньев.

Используя формулы (5) и (7), был выполнен анализ дифференциальных механизмов с парными сателлитами различных схем при разных ведущих звеньях.

В таблице приведены, в качестве результатов исследований, все механизмы с парными сателлитами, свободные от генераторных режимов, циркулирующей мощности и удовлетворяющие условию $\omega_H = -\omega_6$. В конце условного обозначения схемы указан индекс ведущего звена (1 или H). В таблице механизмы Д. 2I₄-AI.I, Д. 2I₄-AA.I, Д. 2I₄-AA.H, Д. 2I₄-II.I, Д. 2I₄-II.H и Д. 2I₄-IA.I имеют колесо Z₄ с внутренними зубьями, а колесо Z₃ с внешними.

В случае, когда Z₃ имеет внутренние зубья, знаки неравенств между a_{w56} и a_{w12} необходимо поменять на обратные.

Выводы

Сформулированы условия синтеза дифференциальных механизмов с парными радиально размещенными сателлитами для привода соосных винтов; предложена методика установления циркулирующей мощности и генераторного режима. Показаны пути определения областей возможных передаточных отношений, приведены диаграммы $i_H(x\lambda)$.

Таблица

Тип дифференциального механизма с парными сателлитами	Тип эквивалентного замкнутого дифференциального механизма	Соотношение межосевых расстояний	$x_1\lambda_1 = x_2\lambda_2 = x\lambda$
Д.2А-AI.1	Д.АА-II-H	$a_{w56} < a_{w12}$	$x\lambda > 1$
Д.2А-AI.H	Д.АА-II-H	$a_{w56} < a_{w12}$	любое
Д.2А-AA.1	Д.АI-AA-H	$a_{w56} > a_{w12}$	$x\lambda > 1$
Д.2А-AA.1	Д.АА-IA-H	$a_{w56} < a_{w12}$	$x\lambda < 1$
Д.2А-II.1	Д.II-AI-H	$a_{w56} > a_{w12}$	$x\lambda < 1$
Д.2А-IA.1	Д.II-AA-H	$a_{w56} > a_{w12}$	$x\lambda > 1$
Д.2А-IA.H	Д.II-AA-H	$a_{w56} > a_{w12}$	любое
Д.2А-II.1	Д.IA-II-H	$a_{w56} < a_{w12}$	$x\lambda > 1$
Д.2I ₄ -AI.1	Д.АА-AI-H	$a_{w56} > a_{w12}$	$x\lambda < 1$
Д.2I ₄ -AI.1	Д.АI-II-H	$a_{w56} < a_{w12}$	$x\lambda > 1$
Д.2I ₄ -AA.1	Д.АА-AA-H	$a_{w56} > a_{w12}$	$x\lambda < 1$
Д.2I ₄ -AA.H	Д.АА-AA-H	$a_{w56} > a_{w12}$	$x\lambda < 1$
Д.2I ₄ -II.1	Д.II-II-H	$a_{w56} < a_{w12}$	$x\lambda > 1$
Д.2I ₄ -II.H	Д.II-II-H	$a_{w56} < a_{w12}$	$x\lambda < 1$

Д.2I ₄ -IA.1	Д.IA-AA-H	$a_{w56} > a_{w12}$	$x\lambda > 1$
Д.2I ₄ -IA.1	Д.II-IA-H	$a_{w56} < a_{w12}$	$x\lambda < 1$

Даны результаты анализа механизмов различных схем.

Список литературы: 1. *Ткаченко В.А., Шебанов И.Г.* К проектированию рациональных зубчатых планетарных механизмов с парными сателлитами. Вестник Харьковского Государственного политехнического университета. 2000, выпуск 109, с. 43-48. 2. *Ткаченко В.А., Абрамов В.Т., Коровкин М.Д.* Проектирование планетарных механизмов, оптимальных по динамическим характеристикам. Харьков, ХАИ, 1983, 12 с. 3. *Ткаченко В.А., Сапрыкин В.Н., Шебанов И.Г.* Синтез диференціалів різного призначення. Вісник Технологічного університету. Поділля. Частина 1. Технічні науки. Хмельницький, 2002, с.21-31.