

## РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ТРАНСМИССИИ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО СКОРОСТНОГО ВЕРТОЛЁТА

Калинин Д.В.<sup>1\*</sup>, Калинин Я.В.<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup> *Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова,  
ЦИАМ, Авиамоторная ул., 2, Москва, 111116, Россия*

<sup>2</sup> *Конструкторское бюро «Камов»,  
ул. Гаршина, 26/1, Томилино, Московская область, 140007, Россия*

\* *e-mail: kalinin@ciam.ru*

\*\* *e-mail: y.kalinin@kamov.ru*

---

Представлены результаты разработки нового типа вертолетной трансмиссии с переменным передаточным отношением для перспективных скоростных вертолетов, позволяющей изменять частоту вращения несущих винтов независимо от оборотов двигателей и рулевых или толкающих винтов. Рассматриваются возможность применения, основные преимущества и недостатки альтернативных типов регулируемых передач: механические трансмиссии со ступенчатым и бесступенчатым изменением передаточного отношения, а также электромеханические варианты бесступенчатых трансмиссий скоростных вертолетов. Описана перспективная схема разработанной бесступенчатой механической трансмиссии вертолета. Проведена оценка динамических усилий на переходных режимах работы трансмиссии при изменении передаточного отношения. Разработана оптимальная схема двухрежимной механической трансмиссии для перспективных скоростных вертолетов.

*Ключевые слова:* скоростной вертолет, трансмиссия, планетарный механизм.

---

### Введение

Одним из приоритетных направлений развития современной вертолетной техники является повышение скорости горизонтального полета. Существующие гражданские и военные вертолеты имеют ограничения скорости полета на отметке 300...350 км/ч. К скоростным винтокрылым машинам будущего поколения предъявляется требование по увеличению горизонтальной скорости полета вплоть до 450...500 км/ч.

Так, например, фирма Sikorsky ведет работу над проектом многоцелевого вертолета S-97 Raider с двумя соосными несущими винтами и одним толкающим винтом в хвостовой части. Этот вертолет, предназначенный в первую очередь для военных применений, будет иметь максимальную скорость 444 км/ч. Он представляет собой развитие прототипа-демонстратора Sikorsky X2, который в сентябре 2010 года превысил скорость 460 км/ч.

Требования к скорости полета вертолета сталкиваются с аэродинамическими ограничениями для несущего винта, такими, как срыв потока с отступающей лопасти несущего винта при высоких скоростях полета. Аэродинамика скоростного вертолета

ощутимо выигрывает от уменьшения частоты вращения винтов при высокоскоростном крейсерском полете. Уменьшение частоты вращения винтов при переходе вертолета от режима висения к полету с высокой скоростью может составлять до 30% от номинальной частоты вращения. Однако такое уменьшение оборотов может создать проблемы со вспомогательными системами, работой двигателя и реализуемой мощностью, поскольку вертолет, который всегда работает при относительно низкой частоте вращения несущих винтов, может при этом оказаться в проигрыше как с точки зрения веса несущего винта и трансмиссии, так и ограничения маневренности. Таким образом, возникает потребность в трансмиссии вертолета, способной обеспечить изменяемые скорости несущих винтов. Для улучшения лётно-технических характеристик высокоскоростных вертолетов их трансмиссии должны обладать возможностью изменения передаточного отношения от двигателя к несущим винтам, а возможно, и к толкающим винтам, обеспечивающим дополнительную тягу в горизонтальном направлении. Толкающий винт может приводиться от двигателей вертолета через хвостовую трансмиссию по

схеме, аналогичной приводу рулевого винта в вертолетах одновинтовой схемы.

Необходимость управляемого изменения частоты вращения несущих и толкающего винтов при постоянной частоте вращения двигателей в зависимости от режима и скорости полета вертолета требует включения в трансмиссию механизмов изменения передаточного отношения. Решение этой задачи представляет наибольшую сложность, поскольку необходимость размещения в трансмиссии такого механизма приводит к росту массы трансмиссии и всего вертолета в целом, увеличению габаритов трансмиссии и повышению динамических нагрузок на переходных режимах работы.

Помимо скоростных вертолетов, требование к регулируемой частоте вращения несущих винтов предъявляется и к традиционным типам вертолетов, как правило, для улучшения экономии топлива.

В статье проводится анализ возможных альтернативных конструктивных решений для регулируемых трансмиссий вертолетов с поиском наиболее оптимальных вариантов.

#### Альтернативные типы трансмиссий вертолетов

Требование к реализации переменного передаточного отношения в трансмиссии вертолета может быть достигнуто за счет использования одного из регулируемых типов приводов, к которым относятся:

- ступенчатые механические трансмиссии;
- бесступенчатые механические трансмиссии;
- гидрообъемные трансмиссии;
- гидродинамические трансмиссии;
- электрические/электромеханические трансмиссии.

Основными критериями выбора оптимальной схемы регулируемой трансмиссии вертолета являются:

- вес трансмиссии (доля трансмиссии в общем весе вертолета составляет 10—15%);
- диапазон изменения передаточного отношения трансмиссии;
- КПД передачи.

Традиционная механическая трансмиссия вертолета состоит из главного редуктора с приводом от двигателей через входную или суммирующую ступень и отбором мощности через коническую передачу углового привода на хвостовую трансмиссию привода рулевого винта [1]. Основная часть мощности передается на вал несущего винта, частота вращения которого составляет 120...300 об/мин, а фиксированное значение передаточного отношения главного редуктора вертолета колеблется в пределах 20...80. Для реализации возможности регулирования частоты вращения несущего винта независимо от двигателей и хвостовой трансмиссии необходима модернизация главного редуктора вертолета с разрывом постоянной механической связи между входной ступенью и приводом несущего винта и встраиванием в конструкцию механизмов изменения передаточного отношения (рис. 1).

Наиболее перспективным типом регулируемых передач являются *электромеханические* и *электрические трансмиссии* [2]. В составе вертолета такая трансмиссия представляет собой привод несущего и рулевого (или толкающего) винтов, состоящий из электродвигателей, энергия к которым поступает от генераторов, встроенных или связанных с газотурбинными двигателями (последовательная схема).

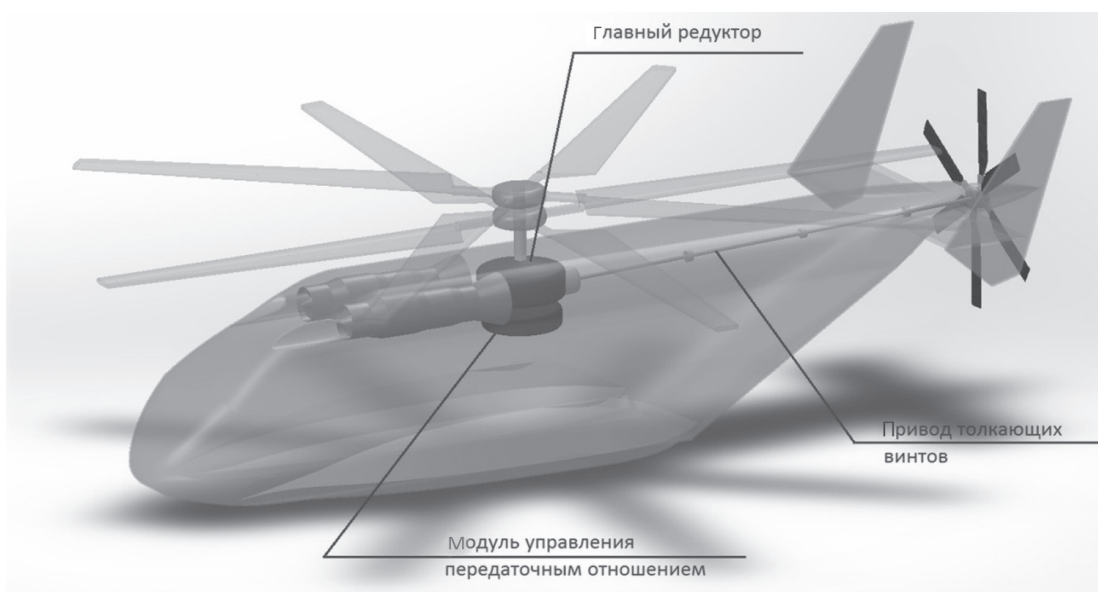


Рис. 1. Общая схема скоростного вертолета с регулируемой трансмиссией

К преимуществам электрических трансмиссий относятся: возможность широкого регулирования как частоты вращения, так и крутящего момента, возможность гибкой связи между элементами без механических передач, снижение шума и вибраций, возможность рекуперации энергии и частичная работа в автономном режиме, плавное изменение передаточного отношения без разрыва связи между двигателем и несущими винтами. При встраивании в состав трансмиссии в качестве полезной нагрузки вертолета блока аккумуляторных батарей можно обеспечить кратковременную работу вертолета на электрической энергии и тем самым существенно повысить безопасность полетов для случаев отказа и неисправностей основных двигателей.

Серьезным недостатком электрических трансмиссий, принципиально ограничивающим их применение в составе винтокрылой техники, является большой вес элементов электропривода при требуемых значениях мощности и выходного крутящего момента. При этом невозможно полностью заменить механический привод на электрический, так как для обеспечения низких частот вращения несущего винта остается необходимость в соединении выходного вала электродвигателя (частота вращения 900—5000 об/мин) с валом несущего винта через механическую понижающую передачу. Масса главного редуктора практически пропорционально зависит от величины крутящего момента на выходном валу, поэтому даже при значительно меньшем требуемом передаточном отношении между электродвигателем и валом несущего винта в состав трансмиссии войдет механическая часть, близкая по массе эквивалентному главному редуктору. Таким образом, к массе традиционной транс-

миссии добавится масса двух электромашин — приводного электродвигателя и генератора, а также блоков управления, проводящей части, аккумуляторных батарей, что в итоге увеличивает исходный вес трансмиссии практически в четыре раза.

Более эффективным решением с точки зрения снижения веса и повышения КПД трансмиссии является использование параллельной схемы электромеханической трансмиссии, применяемой в автомобильной технике и получившей название «гибридной» трансмиссии. В таком механизме основная часть мощности передается традиционным механическим приводом, а электрическая часть мощности — через параллельный поток за счет отбора части мощности генератором от газотурбинного двигателя и добавлением к приводу несущего винта через параллельное соединение электродвигателя с планетарной трансмиссией. При этом мощность используемых электромашин может составлять всего 25% от общей мощности силовой установки, что должно значительно снизить их вес в сравнении с электрической поступательной схемой трансмиссии. В составе трансмиссии должны также находиться аккумуляторные батареи, так как мощность от генератора используется электродвигателями только при необходимости изменения передаточного отношения. Схема такого типа трансмиссии применительно к скоростному вертолету показана на рис. 2.

Необходимо отметить, что, в отличие от механического и гидравлического типа трансмиссий, элементы электрических трансмиссий наиболее активно развиваются и за счет улучшения как функциональных, так и массогабаритных характерис-

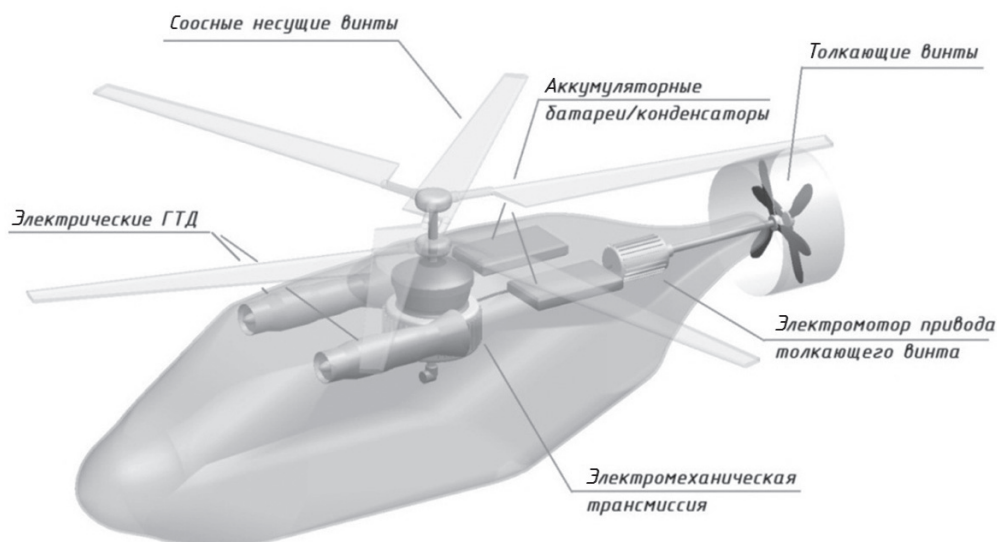


Рис. 2. Схема скоростного вертолета с гибридной электромеханической трансмиссией

тик имеют серьезные перспективы использования в будущем в составе перспективных вертолетов.

Использование в составе вертолета *гидрообъемных трансмиссий* в настоящее время актуально исключительно при постоянном значении передаточного отношения, так как регулируемые гидрообъемные машины имеют также большой вес и низкий КПД, значение которого для высоких мощностей силовых установок вертолетов является недопустимым. Гидрообъемные трансмиссии с постоянным передаточным отношением также не позволяют исключить из конструкции привода несущих винтов механический редуктор, т.е. общая масса трансмиссии будет как минимум вдвое превышать массу механического аналога.

*Механические регулируемые трансмиссии* обладают лучшими массогабаритными характеристиками и высоким КПД, однако для реализации возможности изменения передаточного отношения должны иметь в своей конструкции фрикционные элементы. В зависимости от способа изменения передаточного отношения регулируемые механические трансмиссии делятся на ступенчатые и бесступенчатые.

Наиболее важным качеством *бесступенчатых механических передач*, оправдывающим теоретическую возможность их использования в перспективных трансмиссиях скоростных вертолетов, является плавность и непрерывность управления, наличие постоянной механической связи с двигателем, точное управление частотой вращения винтов при неизменных оборотах двигателя. Изменение передаточного отношения в таких трансмиссиях происходит при помощи фрикционного вариатора, встроенного в планетарный механизм главного редуктора вертолета. Этот элемент является критичным звеном, поскольку обладает небольшим ресурсом дол-

говечности и при передаче больших величин мощности и крутящего момента будет иметь высокий вес, нивелирующий преимущества его использования. Решением проблемы веса и надежности для механического вариатора является использование подхода к синтезу кинематической схемы трансмиссии, аналогичному методам разработки гибридных электромеханических трансмиссий [3]. В такой бесступенчатой механической трансмиссии основная часть мощности передается механическим путем через один из параллельных потоков мощности двухступенного планетарного механизма. Во вторую ветвь потока мощности встраивается фрикционный вариатор, позволяющий непрерывно изменять передаточное отношение всей трансмиссии, однако его расчетная пропускная мощность может быть на порядок ниже.

На основе разработанной методики синтеза планетарных бесступенчатых механизмов авторами был спроектирован планетарный механизм для бесступенчатой трансмиссии скоростного вертолета, позволяющий использовать в своем составе механические вариаторы, пропускающие лишь 5% общей мощности силовой установки, и реализующий диапазон изменения передаточного отношения 1,4 [4]. На рис. 3 показан общий вид бесступенчатой механической трансмиссии со встроенными вариаторами в составе перспективного скоростного вертолета.

Разработанная кинематическая схема планетарного механизма показана на рис. 4, где звено 1 — несущий винт вертолета; 2 — дополнительная ступень редукции в трансмиссии; 3 — коническая передача от суммирующей шестерни, передающей мощность от двух двигателей на главный редуктор; 4 — эпициклическая шестерня первого планетарного ряда, совмещенная с конической шестерней

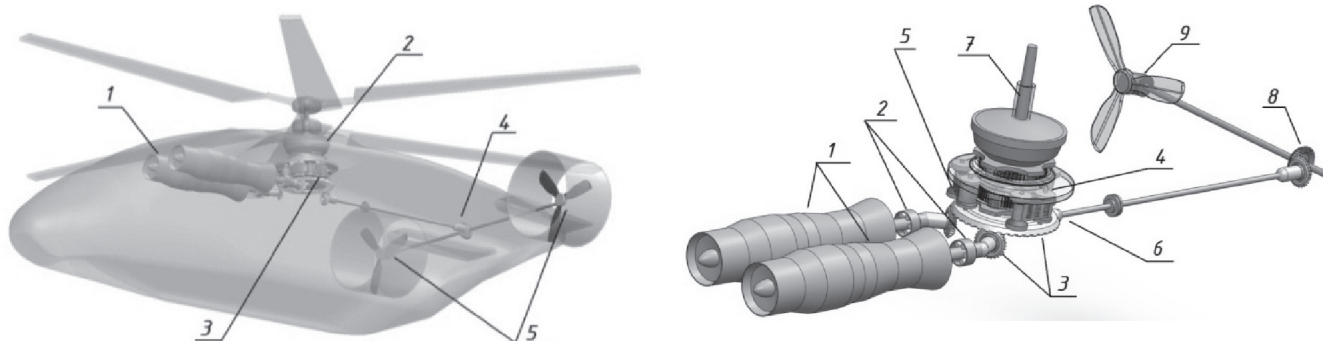


Рис. 3. Модель компоновки бесступенчатой механической трансмиссии в составе скоростного вертолета: 1 — двигатели (ГТД); 2 — муфты свободного хода; 3 — коническая передача первой редукторной ступени; 4 — двухпоточный планетарный механизм бесступенчатой передачи; 5 — цепные вариаторы; 6 — привод толкающих винтов (коническая передача); 7 — планетарная часть главного редуктора с валами несущих винтов; 8 — угловой привод (промежуточный редуктор); 9 — угловые редукторы привода толкающих винтов

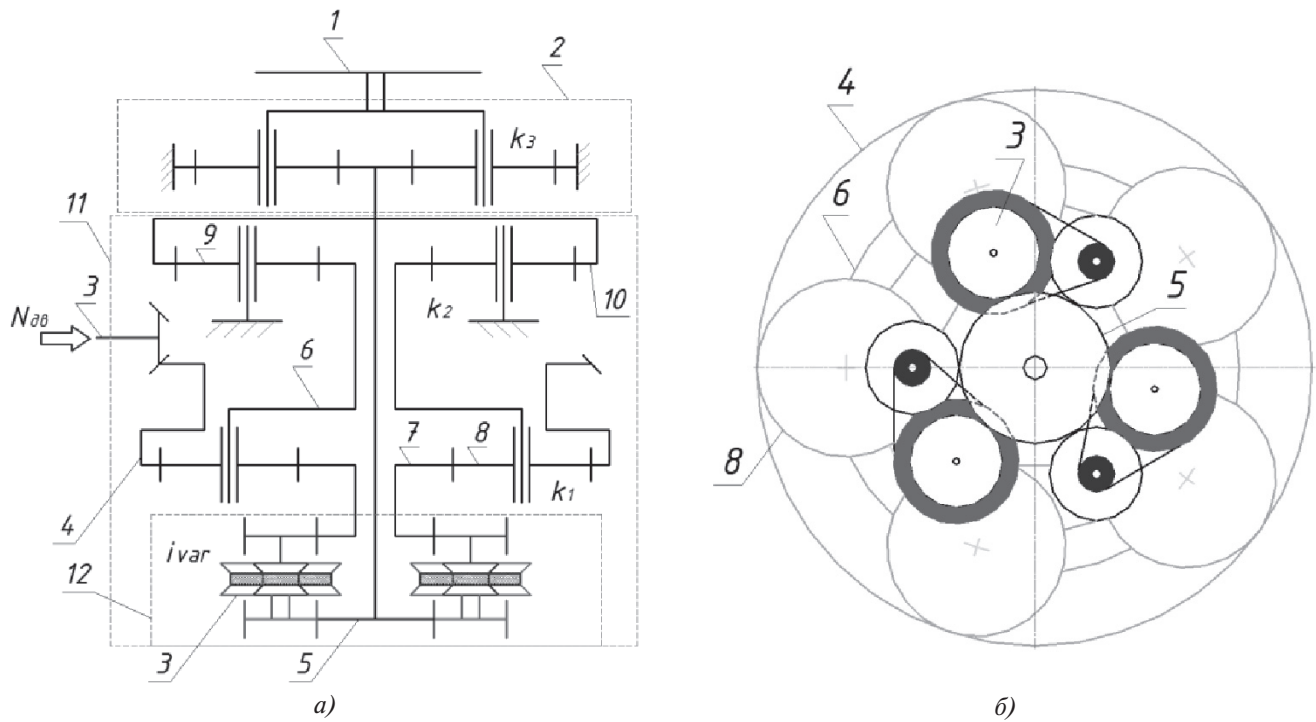


Рис. 4. Схема регулируемой части трансмиссии скоростного вертолета с бесступенчатим механическим модулем: а — кинематическая схема; б — схема расположения вариаторов

привода от двигателей; 5 — центральное звено ветви вариатора; 6 — звено второй ветви, являющееся водилом первого планетарного ряда и солнечной шестерней второго планетарного ряда; 7 — солнечная шестерня первого планетарного ряда; 8 — сателлит первого планетарного ряда; 9 — сателлит второго планетарного ряда; 10 — эпициклическая шестерня второго планетарного ряда; 11 — бесступенчатый планетарный модуль главного редуктора; 12 — модуль системы вариаторов.

Мощность от двигателей через суммирующую передачу поступает на конический привод главного редуктора 3, который приводит эпицикл первого планетарного ряда 4. Мощность в первом планетарном ряду разделяется на два потока: через звенья 6, 9 и 10 основной ветви проходит большая часть мощности, а через регулируемую ветвь, состоящую из звеньев 5, 7 и трех вариаторов, проходит остаток мощности. Система вариаторов устроена по схеме перебора, в которой три вариатора расположены вокруг центральных звеньев, что позволяет часть мощности от звена 7 к звену 5 разделить на три части, каждая из которых проходит через вариатор, тем самым снижая его нагруженность. В вариаторе происходит изменение передаточного отношения от звена 7 к звену 5, что приводит к изменению соотношения частот вращения всех звеньев в планетарной передаче. В результате при изменении передаточного отношения вариаторов изменяется передаточное отношение всей трансмиссии и изменяется частота вращения вала несущего

винта 1. На данную кинематическую схему планетарной бесступенчатой трансмиссии получен патент на полезную модель №142189 (RU) «Бесступенчатая механическая трансмиссия транспортного средства».

Однако одним из недостатков использования бесступенчатой трансмиссии на вертолете является ее более низкий КПД в сравнении со ступенчатыми трансмиссиями. В автомобилях применение бесступенчатых трансмиссий не увеличивает расход топлива, поскольку более низкий КПД трансмиссии компенсируется работой двигателя на оптимальных оборотах. На вертолете двигатель имеет постоянные номинальные обороты, поэтому применение трансмиссий с более низким КПД ухудшит КПД всей силовой установки (привода несущих винтов), а также приведет к более высоким тепловыделениям, а значит, и к большей массе теплообменников.

На графике рис. 5 представлено сравнение различных типов прогрессивных типов трансмиссий по основным критериям — доле массы трансмиссии в общей массе вертолета и диапазону изменения передаточного отношения.

Как видно из рис. 5, оптимальным вариантом с точки зрения минимизации добавленной массы и реализации требуемого диапазона изменения передаточного отношения трансмиссии для скоростного вертолета является механическая трансмиссия со ступенчатым изменением фиксированного передаточного отношения. К техническим сложностям

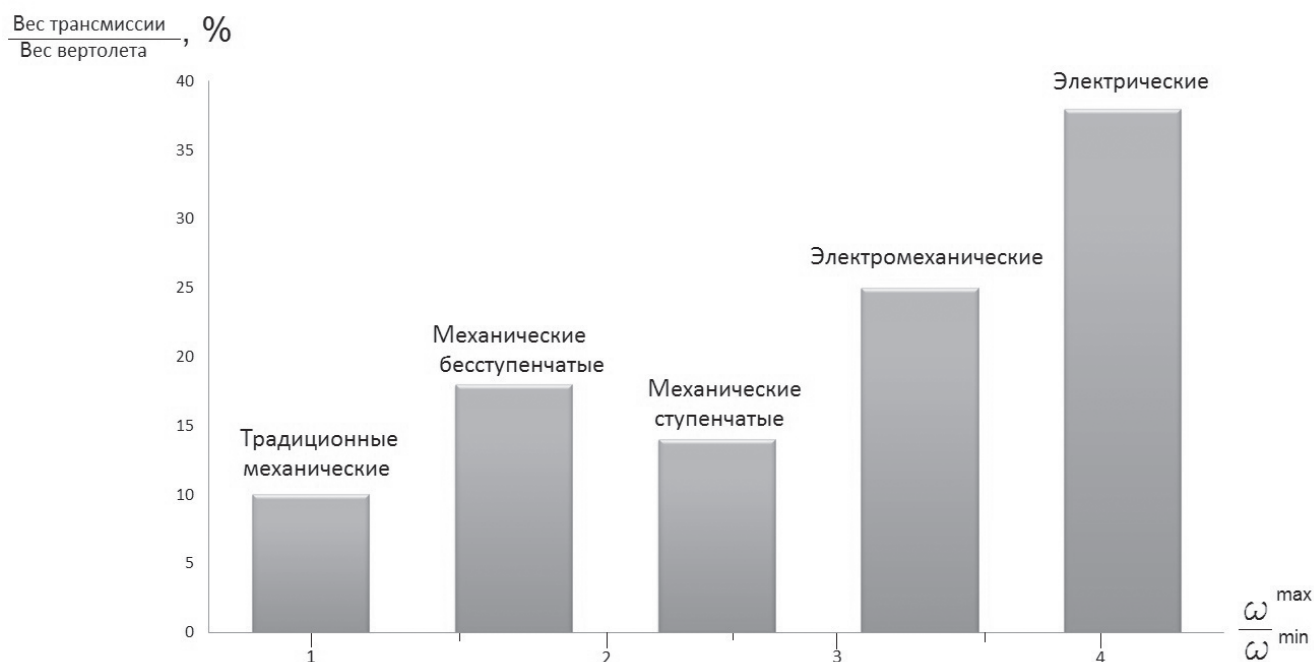


Рис. 5. Характеристики основных типов регулируемых трансмиссий применительно к скоростному вертолету

реализации данного типа механизма применительно к высоким мощностям вертолетных трансмиссий относятся выбор схемы переключения между режимами, который напрямую затрагивает управляемость и безопасность полета, и выбор типа механизма переключения в обеспечении снижения динамических потерь на переходных режимах работы.

### Разработка оптимальной схемы ступенчатой планетарной трансмиссии

Требование к регулированию частоты вращения несущего винта вертолета, как правило, не предусматривает длительной работы вертолета на всем рабочем диапазоне частот вращения винта и предполагает наличие у вертолета двух основных частот вращения: высокой — для взлётного режима и низкой — для режима горизонтального полета на высокой скорости. С точки зрения удовлетворения требования к функциональности трансмиссии, достаточно иметь два фиксированных передаточных отношения в трансмиссии для переключения между режимами полёта вертолета.

Таким образом, задача разработки оптимальной схемы ступенчатой трансмиссии для скоростного вертолета может быть сформулирована на основе следующих ключевых требований:

- трансмиссия должна иметь возможность работы при двух фиксированных значениях передаточного отношения;
- процесс переключения между режимами работы должен происходить без опасных последствий для управляемости вертолета;

- механизм и схема трансмиссии должны обеспечивать минимальное увеличение массы и габаритов в сравнении с традиционными схемами трансмиссий;

- процесс изменения передаточного отношения должен сопровождаться минимальными потерями в мощности.

Наиболее близкими по типу механизмами со ступенчатым изменением передаточного отношения являются ступенчатые коробки передач трансмиссии автомобиля (вальные и планетарные). Однако если взять за аналог традиционную схему коробки передач и применить ее к реализации двухступенчатого режима, то, дополнительно к элементам планетарного ряда традиционного главного редуктора вертолета, в механизме появится сцепление, необходимое для разрыва механической связи между двигателем и трансмиссией в момент переключения режима передачи, и два механизма блокировки соответствующих кинематических ветвей (синхронизаторы или блокировочные муфты). Основными недостатками работы такого механизма будут являться разрыв кинематической связи внутри трансмиссии и потери на трение во фрикционных элементах сцепления при выравнивании скоростей между элементами. Разрыв кинематической связи между двигателем и несущим винтом даже на короткий промежуток времени может привести к потере управляемости вертолета и нарушению устойчивости полета.

С целью максимального упрощения механизма ступенчатой механической трансмиссии с двумя

передачами и исключения управляющих муфт сцепления разработана оригинальная кинематическая схема планетарной регулируемой трансмиссии, использующая наличие двух степеней свободы в планетарном механизме.

Кинематическая схема механизма представлена на рис. 6 и 7. Модуль изменения передаточного отношения трансмиссии скоростного вертолета представляет собой планетарный ряд, водило которого (звено 2) приводится через конические передачи 1 от двух двигателей, солнечная шестерня (звено 3) соединена с одним входом блокировочной муфты и одним входом обгонной муфты. Эпицик-

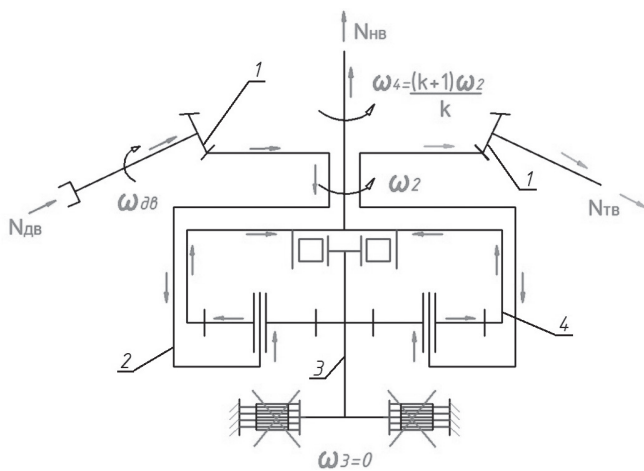


Рис. 6. Схема работы ступенчатой трансмиссии до выхода на скоростной режим полета

лическая шестерня (звено 4) приводит во вращение несущий винт и также связана с одним выходом обгонной муфты. Данный механизм имеет один управляющий элемент — блокировочную муфту, за счет включения и выключения которой происходит переключение между режимами работы трансмиссии, характеризуемыми разными значениями передаточного отношения.

До выхода на скоростной режим полета в трансмиссии включена блокировочная муфта (рис. 6), которая замкнута на корпус редуктора, тем самым обеспечивая фиксацию солнечной шестерни 3:

$$\omega_3 = 0. \quad (1)$$

При этом кинематическая связь в планетарном механизме однозначно определяет частоту вращения вала несущего винта [2]:

$$\omega_4 = \frac{\omega_2(k+1)}{k}, \quad (2)$$

где  $k$  — конструктивный параметр планетарного ряда (передаточное отношение при фиксированном

водиле);  $\omega_2$  — частота вращения входного вала механизма, приводимого от двигателей через конические передачи.

На данном режиме работы обгонная муфта остается выключенной, поскольку соблюдается условие ее разблокировки:

$$\omega_2 > \omega_3. \quad (3)$$

Передаточное отношение трансмиссии на данном режиме определяется через конструктивный параметр как

$$i = \frac{\omega_2}{\omega_4} = \frac{k}{(k+1)}. \quad (4)$$

Изменение режима работы трансмиссии при выходе на скоростной режим полета осуществляется исключительно за счет разблокировки фрикционной муфты (рис. 7). При отсутствии кинематической связи звена 3 и корпуса редуктора крутящий момент на солнечной шестерне становится равным нулю и частота вращения звена 4, приводящего несущие винты начинает снижаться за счет действия в переходный момент работы трансмиссии

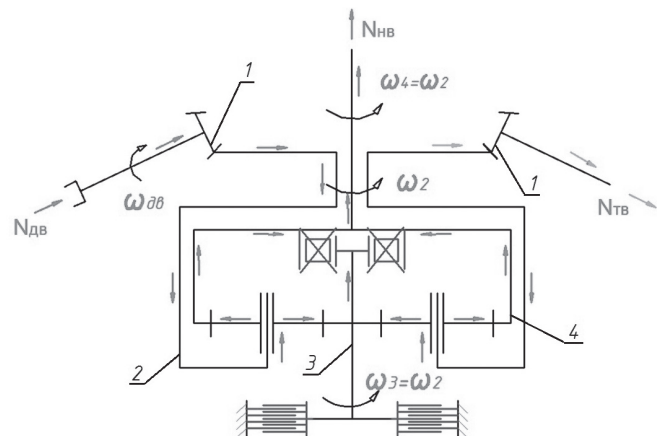


Рис. 7. Схема работы ступенчатой трансмиссии на скоростном режиме полета

единственного внешнего воздействия — момента сопротивления воздуха со стороны несущих винтов (МНВ). Частота вращения звена 3 начинает возрастать за счет действия сил от зацепления с сателлитами. В момент выравнивания частот вращения звеньев 3 и 4 трансмиссии

$$\omega_2 = \omega_3 = \omega_4 \quad (5)$$

происходит блокировка обгонной муфты и весь планетарный механизм начинает работать как одна прямая передача, таким образом, что

$$i = \frac{\omega_2}{\omega_4} = 1. \quad (6)$$

Обратный момент перехода на доскоростной режим работы осуществляется включением блокировочной муфты и разблокировкой обгонной муфты при выполнении условия (3). Переключение между режимами для наиболее плавной работы должно осуществляться совместно с подстройкой двигателя.

Момент, передаваемый блокировочной муфтой при переключении с одного режима на другой (при включении повышенной передачи),

$$M_{\text{сц}} = M_{\text{пост}} + M_{\text{ин}} = M_{\text{пост}}(n_{\text{н.в}}, \varphi, V, h) + \varepsilon I_{\text{н.в}}, \quad (7)$$

где  $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} \approx \frac{(\omega_2 - \omega_1)}{\Delta t_{\text{вкл}}}$  — угловое ускорение отключенного звена.

То есть момент сцепления в блокировочной муфте определяется инерцией несущего винта (винтов) и временем переключения.

При этом обороты двигателя могут не изменяться скачкообразно, если соответствующим образом запрограммировать систему его управления. Кроме того, поскольку двигатели позволяют кратковременные забросы частот вращения в пределах 10—15 %, процесс переключения можно обеспечить с минимальным скольжением в сцеплении и более плавным переключением.

Потери, выделяемые в сцеплении, пропорциональны скорости скольжения в сцеплении  $\omega_{\text{отн}} = (\omega(t) - \omega_1)$ , поэтому для снижения теплонагруженности и размеров фрикционного элемента целесообразно в процессе переключения передач варьировать скоростью вращения свободных турбин двигателей с целью снижения разности скоростей вращения в сцеплении.

Использование муфты обратного хода в сочетании с блокировочной муфтой позволяет осуществлять переключение передач без разрыва потока мощности, характерного для автомобильных коробок передач.

Важным преимуществом разработанной схемы является условие безопасной работы, реализуемое в том, что выход из строя сцепления не приведет к разрыву силовой цепи и потере тяги на несущих винтах.

Разработанная кинематическая схема двухрежимной механической трансмиссии обеспечивает изменение передаточного отношения без разрыва кинематической связи за счет управления одним блокировочным фрикционным элементом. При этом в трансмиссии не используются новые механизмы — тормоз несущего винта и обгонная муфта

присутствуют в составе трансмиссий большинства вертолетов [3]. Эти особенности конструкции обеспечивают высокую надежность работы трансмиссии и высокие функциональные характеристики при минимальном увеличении массы оригинальной конструкции главного редуктора вертолета. Данный механизм трансмиссии является оптимальным решением для изменения частоты вращения несущих винтов перспективных скоростных вертолетов.

## Выводы

Исследованы возможные схемно-конструктивные решения для трансмиссий перспективных скоростных вертолетов на основе синтеза многопоточных планетарных механизмов, а именно: электрическая, гибридная электромеханическая, механическая ступенчатая и механическая бесступенчатая схемы. Сделан вывод о неэффективности использования электрических и электромеханических схем в трансмиссии скоростного вертолета вследствие невозможности ухода от механической ступени редукции. Описана перспективная схема разработанной бесступенчатой механической трансмиссии вертолета. Показано, что с точки зрения определяющего критерия — минимального веса и высокого КПД трансмиссии — наиболее эффективным и рациональным приводом для скоростного вертолета является механическая двухрежимная трансмиссия со ступенчатым изменением передаточного отношения. Разработана оптимальная схема ступенчатой трансмиссии с одним фрикционным управляющим элементом и полуавтоматическим способом изменения передаточного отношения, обеспечивающим отсутствие разрыва механической связи между двигателями и несущим винтом. Разработанная конструкция удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к трансмиссиям перспективных скоростных вертолетов.

## Библиографический список

1. Бушмарин Л.Б., Дементьев П.П., Иоффе Г.И. Механические передачи вертолетов. — М.: Машиностроение, 1983. — 120 с.
2. Miller M.L. Mechanical Assistance for Electric Drives. — Haifa, Israel. Institute of Technology, 2001.
3. Кудрявцев Ю.Н. Многопоточные передачи дифференциального типа. — М.: Машиностроение, 1981. — 224 с.
4. Kalinin D.V., Kozharinov E.V. Optimal high-speed helicopter transmission designs // 28th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, 23-8 September 2012, Brisbane, Australia. Paper ICAS2012-P4.13.



## TWO-STAGE TRANSMISSION SCHEME DESIGN FOR PERSPECTIVE HELICOPTER

Kalinin D.V.<sup>1\*</sup>, Kalinin Ya.V.<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup> Central Institute of Aviation Motors,  
CIAM, 2, Aviamotornaya str., Moscow, 111116, Russia

<sup>2</sup> Design Bureau "Kamov",  
26/1, Garshina str., Tomilino, Moscow region, 140007, Russia

\* e-mail: kalinin@ciam.ru

\*\* e-mail: y.kalinin@kamov.ru

### Abstract

Conventional commercial and military helicopters have flight speed limit of about 300-350 km/h. High-speed rotary wing aircrafts of the next generation require the increase of horizontal speed up to 450-500 km/h. Aerodynamic limitations, hindering flight speed increase of perspective high-speed helicopters, can be eliminated by reduction of the main rotor rotation frequency, while a helicopter builds up its high speed. This can be provided by implementation of regulated transmission with variable transmission ratio. The existing helicopter transmissions have constant transmission ratio. Thus, the development of regulated transmissions of anew type requires carrying out of exploratory study. The paper presents the results of the design of a new type of helicopter transmission with variable transmission ratio for perspective high-speed helicopters. It allows vary rotation frequency of the main rotor irrespective of engine and anti-torque, or pusher rotors rpm. The paper considers also the possibility of implementation and basic advantages and disadvantages of alternative types of regulated transmissions, such as, mechanical transmissions with stepped and stepless transmission ratio variation, as well as electromechanical versions of high-speed helicopters transmissions. It is shown that from the determining criterion point of view, i. e. minimum weigh and maximum efficiency of the transmission, the most effective and rational drive for a high-speed helicopter is a mechanical dual-mode transmission with stepped transmission ratio variation. The paper presents the description of a developed perspective stepless transmission scheme for a helicopter. The evaluation of

dynamic forces acting during transmission transient modes with transmission ratio variation was carried out. Optimal scheme of the dual-mode mechanical transmission for perspective helicopters was developed. The important advantage of the developed scheme is the condition of safe operation, which consists in the fact that the coupling failure will not cause the braking of the force loop and loss of power at the main rotors. These design features provide high reliability of transmission operation and high functional characteristics with minimum mass increase in original structure of the helicopter main-rotor gearbox. This transmission mechanism is optimal solution for main rotors rotation frequency variation of perspective high-speed helicopters.

**Keywords:** high-speed helicopter, transmission, planetary gearbox.

### References

1. Bushmarin L.B., Dement'ev P.P., Ioffe G.I. *Mekhanicheskie peredachi vertoletov* (Mechanical transfers of helicopters), Moscow, Mashinostroenie, 1983, 120 p.
2. Miller M.L. *Mechanical Assistance for Electric Drives*. Haifa, Israel. Institute of Technology, 2001.
3. Kudryavtsev Yu.N. *Mnogopotochnye peredachi differentsial'nogo tipa* (Multiline transfers of differential type), Moscow, Mashinostroenie, 1981, 224 p.
4. Kalinin D.V., Kozharinov E.V. Optimal high-speed helicopter transmission designs. *28th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, 23-28 September 2012*, Brisbane, Australia. Paper ICAS2012-P4.13.