

УДК 681.518.54

В.Ф. МИРГОРОД

ОАО «Элемент», Одесса, Украина

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ВЕРТОЛЕТА В СОСТАВЕ ДВУХ ТУРБОВАЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С РЕДУКТОРОМ И ДВУХРЯДНЫМ ВИНТОМ: АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ СИНХРОНИЗАЦИИ

На основе математической модели динамических режимов силовой установки вертолета, учитывающей крутильные колебания трансмиссии и динамику винтовой группы, рассмотрено решение задачи управления режимами и синхронизации турбовальных двигателей. Выполнена компьютерная реализация разработанных математических моделей с использованием баз данных стендовых испытаний турбовального двигателя. Проведено сопоставление и сравнительный анализ различных алгоритмов синхронизации мощности рассматриваемой силовой установки.

**Ключевые слова:** газотурбинный двигатель, динамика, система управления, моделирование, синхронизация.

### Введение

Построение адекватных математических моделей сложных динамических объектов авиационной техники является в настоящее время необходимым этапом при создании современных систем управления, выполняемых в профиле систем с полной ответственностью. Одним из таких объектов является силовая установка, состоящая из двух ГТД, трансмиссии и соосных винтов. Основным вопросом для такого типа силовых установок является исключение возбуждения колебательных режимов, вызванных конечной крутильной жесткостью соединительных валов трансмиссии и нагрузки. Отработка алгоритмов цифровой системы автоматического управления (САУ) ГТД обуславливает необходимость создания численно реализуемой математической модели силовой установки, учитывающей в полном виде ее динамические свойства.

### 1. Анализ проблемы и цель исследования

Разработанные и апробированные на практике математические модели ГТД [1...3] достигли в настоящее время высокой степени совершенства и позволяют адекватно прогнозировать динамику двигателя для различных режимов функционирования и с различными управляющими воздействиями. В наибольшей степени соответствуют задачам синтеза цифровых систем управления кусочно-линейные динамические модели [2], в которых достигается компромисс между требуемой точностью воспроизводства характеристик реальных ГТД и сложностью численной реализации. Модели динамики нагрузки

строятся в виде классических уравнений Лагранжа [4...7]. В то же время недостаточное внимание уделяется описанию реальной трансмиссии как многозвенной составной механической системы с учетом крутильной жесткости соединительных валов и особенностями работы двух двигателей на общую динамическую нагрузку переменного характера. Известная особенность такого рода силовых установок состоит в возможном возбуждении слабо демпфированных колебаний при несоответствующем выборе алгоритмов управления режимами ГТД. Дополнительные проблемы возникают в связи с необходимостью синхронизации ГТД по крутящему моменту. Указанный комплекс задач обуславливает необходимость разработки математической модели двухдвигательной силовой установки, учитывающей как характеристики и возможную неидентичность двигателей, так и динамические и статические параметры нагрузки, что и является целью настоящей статьи.

### 2. Основные результаты

#### 2.1. Двухдвигательная силовая установка

Отличительными особенностями работы 2-х двигательной силовой установки (2-ДСУ) является:

- выполнение условия совместного движения

$$n_{ст.1} = n_{ст.2} = n_B \cdot i_{тр} = n_B,$$

- наличие в трансмиссии муфт свободного хода (МСХ), обеспечивающих предохранительные функции и отключение неработающего двигателя.

Алгоритм работы муфт свободного хода и соответствующие уравнения динамики предложены

разработчиком модели двигателя С.В. Елифановым.

Для учета возможных различий в динамике двигателей силовой установки, указанный алгоритм модифицирован в виде

$$\Delta n_{\text{в}} = i_{\text{МСХ.1}} \cdot \Delta n_{\text{ст.1}} + i_{\text{МСХ.2}} \cdot \Delta n_{\text{ст.2}},$$

где алгоритм формирования признаков зацепления муфт  $i_{\text{МСХ}}$  остается без изменений, а изменение ускорений свободных турбин каждого из двигателей моделируется собственными, и, возможно различными по коэффициентам, уравнениями статики и динамики в пространстве состояний.

Такая модификация одновременно представляет возможность учесть динамические свойства трансмиссии и винтовой группы (ТиВГ), поскольку исходная модель разработчика по отношению к нагрузке является статической, а динамика учтена суммарным, приведенным к частоте СТ, моментом инерции.

Моделирование 2-ДСУ выполнено для решения задач синхронизации в режиме NUM-4 с ПИД-регулятором оборотов и регулятором перепада. Типичные кривые динамики приведены на рис. 1.

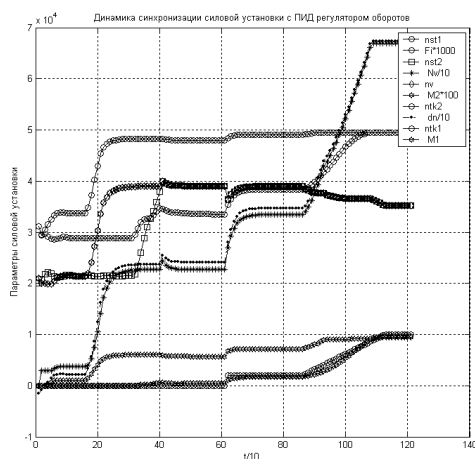


Рис. 1. Динамика синхронизации двухдвигательной силовой установки с ПИД регулятором оборотов

## 2.2. Синхронизация работы 2-х двигательной силовой установки

Совместная работа 2-х двигателей на общую нагрузку с регуляторами оборотов, имеющими интегральную составляющую (астатизм), сопровождается известным эффектом автоматического установления различных режимов работы двигателей. При малой загрузке общего шага винта один из двигателей работает в режиме, близком к взлетному, с максимальными расходом топлива и, соответственно, располагаемой мощностью, а второй двигатель – на пониженном режиме (рис. 1). Большое различие в располагаемых мощностях ГТД силовой установки

приводит к неравномерной выработке их ресурса, и неравномерной нагрузке на главный редуктор трансмиссии, что является недопустимым фактором. При увеличении загрузки различие в режимах двигателей уменьшается и становится минимальным при максимальной нагрузке. Такое различие вызвано не столько невозможностью одинаковой настройки регуляторов оборотов, сколько неизбежно присутствующем различием в параметрах отдельных двигателей.

Для ликвидации указанного неблагоприятного явления возможно использование двух подходов:

- изменение законов регулирования оборотов, при котором происходит автоматическое выравнивание мощности двигателей;
- создание дополнительного контура регулирования по параметру, связанному с располагаемой мощностью двигателей и их различием.

Первый подход реализуется путем создания искусственного статизма в контурах регулирования оборотов.

Второй подход реализуется путем измерения различия в давлении за компрессором  $P_k$ , оборотах турбокомпрессора  $n_{\text{тк}}$ , либо крутящего момента  $M_{\text{кр}}$  и введении корректирующих сигналов в систему управления 2-ДСУ.

Искусственный статизм в ПИД-регулятор вида

$$\Delta G = \Delta G_{\text{П}} + \Delta G_{\text{Д}} + \Delta G_{\text{И}} = K_{\text{П}} \cdot \Delta n + K_{\text{Д}} \cdot \dot{\Delta n} + \frac{1}{T_{\text{И}}} \int_0^t \Delta n dt,$$

где  $\Delta G_{\text{П}}$ ,  $\Delta G_{\text{Д}}$ ,  $\Delta G_{\text{И}}$  – пропорциональная, дифференциальная и интегральная компоненты соответственно, вводятся согласно уравнению

$$T_{\text{И}} \cdot \dot{\Delta G}_{\text{И}} + K_{\text{С}} \cdot \Delta G_{\text{И}} = \Delta n,$$

где  $\Delta n$  – ошибка регулирования по оборотам;  $K_{\text{С}}$  – коэффициент статизма.

Моделирование 2-ДСУ с искусственным статизмом ПИД-регулятора оборотов (рис. 2) подтверждает возможность и осуществимость синхронизации двух двигателей на различных режимах.

Достоинством указанного способа синхронизации является отсутствие необходимости ввода дополнительных измерителей параметров ГТД и соответствующих каналов регулирования.

Недостатки способа синхронизации с искусственным статизмом регулятора оборотов обусловлены принципом его действия: при малых коэффициентах статизма сильно затягивается процесс синхронизации (выравнивания) мощностей ГТД, при больших коэффициентах – резко возрастает ошибка поддержания заданных оборотов, что требует дополнительной коррекции сигнала задания [2] и усложняет схему регулирования. Кроме того, при отсутствии датчика шага загрузки винта параметры

режима синхронизации существенно зависят от величины загрузки.

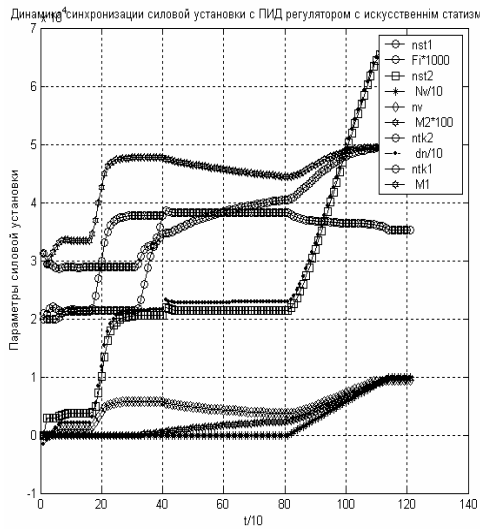


Рис. 2. Динамика синхронизации двухдвигательной силовой установки с ПИД регулятором оборотов и искусственным статизмом

Синхронизация по крутящему моменту  $M_{кр}$  является наиболее эффективным способом синхронизации турбовальных вертолетных ГТД, так как обеспечивает не только равномерность нагрузки и выработки ресурса двигателей, но и номинальный режим работы главного редуктора.

Известный алгоритм синхронизации имеет вид

$$n_{ст.зад.м} = n_{ст.зад} - k_M (M_{кр} - M_{кр.соч}),$$

то есть предусматривает коррекцию сигнала задания ПИД-регулятора оборотов в зависимости от рассогласования развиваемых крутящих моментов двигателей.

При моделировании использован первоначально указанный алгоритм, где

$$M_{кр,i} = N_{ст,i} / \omega_{ст,i},$$

с учетом возможных неидеальностей ИКМ.

Непосредственное использование заданного алгоритма синхронизации, сопровождается значительным (до 2500 об/мин) провалом оборотов двигателей и переходным процессом с перерегулированием. Наилучшие результаты достигнуты при использовании комбинированного алгоритма синхронизации

$$\left. \begin{aligned} n_{ст.зад.м.1} &= n_{ст.зад} - \frac{k_M}{2} (M_{кр.1} - M_{кр.2}) \\ n_{ст.зад.м.2} &= n_{ст.зад} - \frac{k_M}{2} (M_{кр.2} - M_{кр.1}) \end{aligned} \right\},$$

предусматривающего одновременное и синхронное изменение уставок регуляторов оборотов САУ обо-

их двигателей, а также постепенный ввод сигнала коррекции  $k_M = k_M(t)$ , что исключает провал оборотов в момент включения режима синхронизации (рис. 3).

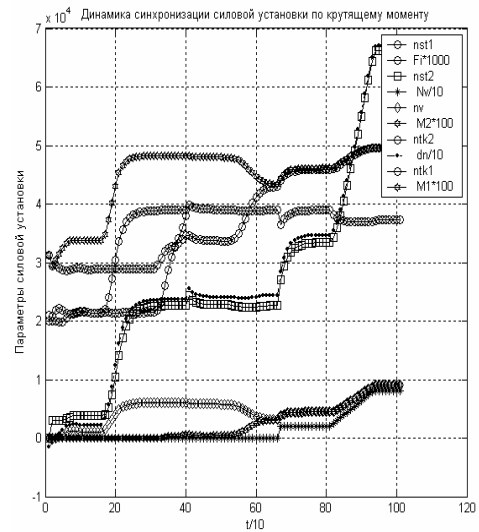


Рис. 3. Динамика синхронизации двухдвигательной силовой установки по крутящему моменту

Поскольку синхронизация осуществляется через ПИД-регуляторы оборотов, динамика переходных процессов синхронизации полностью определяется настройками этих регуляторов, а статика — законом регулирования. Следовательно, статическая ошибка поддержания равенства  $M_{кр}$  обеих двигателей полностью определяется статической точностью датчика (ИКМ) и не зависит от параметров САУ и двигателей. Например, если ИКМ будет иметь погрешность 6 %, то именно такая точность поддержания равенства  $M_{кр}$  будет реализована в САУ, даже при неидентичности параметров двигателей.

Достоинством варианта синхронизации по  $M_{кр}$  является тот факт, что  $M_{кр}$  является выходным параметром 2-ДСУ, непосредственно определяющим ее располагаемую мощность, а также возможность получения предельно достижимых характеристик установки: равенства располагаемых мощностей при неидентичности двигателей.

Недостатки синхронизации по  $M_{кр}$  обусловлены исключительно сложностью технической реализации и недостаточной точностью ИКМ.

Общим недостатком всех алгоритмов синхронизации 2-ДСУ без датчика учета загрузки винта является невозможность ввести динамическую коррекцию по этому параметру и, как следствие, низкое качество переходных процессов в САУ, сопровождающихся забросами и провалами оборотов при изменении угла загрузки.

Следуя рекомендациям ОАО «Камов», дополнительно к варианту синхронизации по Мкр рассмотрена синхронизация 2-ДСУ по оборотам турбокомпрессора птк.

Алгоритм синхронизации предусматривает каскадное включение пропорционального регулятора по разности птк двигателей и ПИД-регуляторов оборотов СТ:

$$\left. \begin{aligned} n_{ст.зад.N.1} &= n_{ст.зад} - \frac{k_N}{2} (n_{тк.1} - n_{тк.2}) \\ n_{ст.зад.N.2} &= n_{ст.зад} - \frac{k_N}{2} (n_{тк.2} - n_{тк.1}) \end{aligned} \right\}$$

где  $k_N$  – коэффициент передачи, эквивалентный  $k_M$  в алгоритме синхронизации по  $M_{кр}$ .

Реализация предлагаемого алгоритма синхронизации (рис.4) позволяет решить поставленную задачу с приемлемыми характеристиками: снижение оборотов СТ в момент включения режима синхронизации не превосходит 0,5 %, режимы синхронизации являются устойчивыми, не колебательными, допускают регулировку в широких пределах, при изменении нагрузки не наблюдается срывов синхронизации.

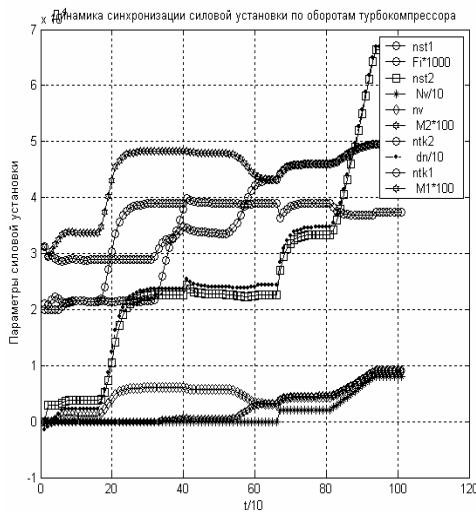


Рис. 4. Динамика синхронизации двухдвигательной силовой установки по оборотам турбокомпрессора

Достоинством рекомендуемого ОАО «Камов» варианта синхронизации 2-ДСУ по птк является простота и надежность реализации, поскольку он реализуется в регуляторах двигателя РДЦ-450 программно-алгоритмическим путем и не требует дополнительных датчиков и каналов регулирования. Получаемые параметры режима синхронизации приемлемы для эксплуатационных потребностей.

Основной недостаток указанного алгоритма обусловлен тем, что измеряемые параметры птк.1, птк.2 косвенно связаны с регулируемым – мощностью, и зависят только от индивидуальных характе-

ристик двигателя и внешних условий. Достижения равенства по птк в общем случае не означает равенство мощностей двигателей.

Качество переходных процессов при изменении нагрузки остается таким же неудовлетворительным, как и в варианте синхронизации по Мкр и требует введения коррекции по углу загрузки.

### 2.3. Моделирование динамики трансмиссии и винтовой группы с учетом крутильной жесткости валов

Существенное влияние крутильных колебаний, возникающих в ТиВГ, является практически установленным фактом, определяющим пригодность САУ ГТД для использования в вертолетных 2-ДСУ. Математическая модель трансмиссии (Рис.5), предлагаемая ОАО «Камов» для использования, допускает детализацию для режима малых отклонений от установившегося режима:

$$\left. \begin{aligned} I_k \Delta \ddot{\varphi}_k + C_k \Delta \dot{\varphi}_k - C_k \varphi_5 &= 0 \\ \sum_{k=1}^4 C_k (\Delta \varphi_k - \varphi_5) &= 0 \\ k &= 1 \dots 4 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} I_k \Delta \ddot{\varphi}_k + C_k \Delta \dot{\varphi}_k - C_k \varphi_5 &= 0 \\ \sum_{k=1}^4 C_k (\Delta \varphi_k - \varphi_5) &= 0 \\ k &= 1 \dots 4, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $I_1, I_2, I_3, I_4$  – моменты инерции нижнего, верхнего несущих винтов, редуктора, первого и второго двигателей (свободных турбин и редуктора);

$C_1, C_2, C_3 = C_4$  – крутильные жесткости валов винтов (с учетом упругости лопастей) и соединительных валов между двигателями и главным редуктором;

$\varphi_k$  – углы скручивания.

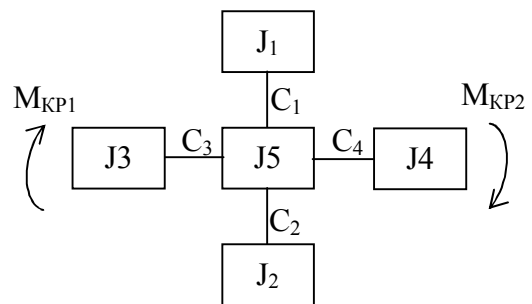


Рис. 5. Схематическая модель силовой установки

Реалистичное представление о переходных процессах, в ТиВГ в различных режимах может

быть получено на основе метода разделения двигателей на «медленное», описываемое уравнением,

$$I\dot{\omega}_B + M_B = M_{кр}$$

где  $\omega_B = k(\varphi_B, V_r, V_v, P_n, T_n) \cdot \omega_B^2$ ;

$M_{кр}$  – суммарный крутящий момент;

$I$  – суммарный приведенный к оборотам винта момент инерции;

$\varphi$  – угол загрузки винта;

$V_r, V_v$  – горизонтальная и вертикальная скорости полета;

$P_n, T_n$  – давление и температура на высоте полета, и «быстрое», описываемое системой уравнений крутильных колебаний

$$\left. \begin{aligned} I_1 \Delta\ddot{\varphi}_1 + 2 \cdot k\varphi \cdot \dot{\omega}_B \cdot \Delta\dot{\varphi}_1 + k\varphi \cdot \Delta\dot{\varphi}_1^2 + c_1 (\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_5) &= \Delta M_{кр.1}; \\ I_2 \Delta\ddot{\varphi}_2 + 2 \cdot k\varphi \cdot \dot{\omega}_B \cdot \Delta\dot{\varphi}_2 + k\varphi \cdot \Delta\dot{\varphi}_2^2 + c_2 (\Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_5) &= \Delta M_{кр.2}; \\ c_1 (\Delta\varphi_1 - \varphi_5) + c_2 (\Delta\varphi_2 - \varphi_5) &= 0. \end{aligned} \right\}$$

На данном этапе крутильная жесткость соединительных валов не учитывается, так как  $C_3, C_4 \ll C_1, C_2$ .

Типичный вид переходных режимов с учетом крутильной жесткости валов, винтов и лопастей приведен рис. 6.

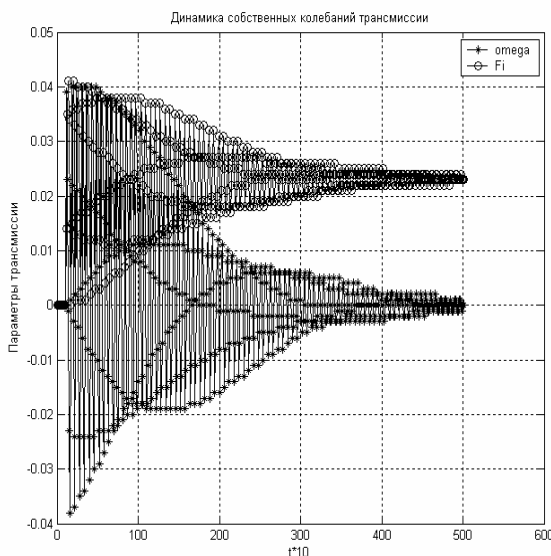


Рис. 6. Переходные процессы в трансмиссии двухдвигательной силовой установки

Как это следует из приведенных соотношений и результатов моделирования, трансмиссия совместно с винтовой группой является для 2-ДСУ на грузкой, представляющую собой нелинейную слабо демпфированную связанную механическую колебательную систему с собственными частотами

$$\omega_{01} = \sqrt{C_1/I_1}$$

и

$$\omega_{02} = \sqrt{C_2/I_2},$$

и комбинационными частотами ввиду наличия нелинейностей.

Коэффициент демпфирования зависит как от частоты вращения винта, так и от условий полета, но наиболее существенной является его зависимость от угла загрузки.

При значительных нагрузках демпфирование возрастает, и колебания быстро затухают. При сбросе нагрузки демпфирование резко падает, и колебания имеют меньший декремент затухания.

#### 2.4. Моделирование процессов синхронизации работы 2-х двигательной силовой установки и динамики трансмиссии и винтовой группы

Проблемы совместного моделирования 2-ДСУ и ТиВГ обусловлены, во-первых, тем, что в модели разработчика используется приведенный к СТ суммарный момент инерции, а модель трансмиссии ОАО «Камов» (рис. 5) предусматривает отдельный учет моментов инерции винтов, редукторов и двигателей, и, во-вторых, тем, что выходным параметром модели двигателя является мощность в то время как модели крутильных колебаний являются законами равновесия для моментов.

В качестве решения указанных проблем выбрано построение модели 2-ДСУ на основе базовой и дополнением ее моделями дополнительных моментов крутильных колебаний нагрузки в виде левых частей уравнений крутильных колебаний валов винтов.

$$\begin{aligned} M_{нагр} &= M_B - (\Delta M_{кр.1} + \Delta M_{кр.2}) = \\ &= k\varphi \cdot \omega_B^2 - (\Delta M_{кр.1} + \Delta M_{кр.2}). \end{aligned}$$

Корректность такого представления обусловлена значительной инерционностью ТиВГ по сравнению с динамикой крутильных колебаний, а также тем, что данное уравнение входит угловая скорость вращения винта, и учитываются параметры нагрузки через коэффициент  $k\varphi$ . Моделирование выполнено в вариантах синхронизации по  $M_{кр}$  и  $птк$  и его результаты представлены на рис. 7.

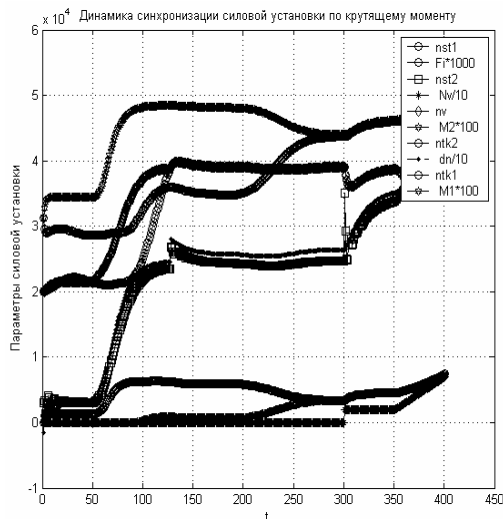


Рис. 7. Динамика синхронизации двухдвигательной силовой установки с реальной трансмиссией по крутящему моменту

Как это следует из результатов моделирования, крутильные колебания возникают при скачкообразном изменении момента: при зацеплении МСХ и изменении угла загрузки.

Однако их уровень в птк, пст незначителен, переходные процессы устойчивы, срывов синхронизации и режимов вынужденных автоколебаний не наблюдается.

### 2.5. Проверка возможности возбуждения крутильных колебаний в ТиВГ с реальной динамикой САУК

Согласно рекомендациям ОАО «Камов» выполнена проверка возможности возбуждения крутильных колебаний в ТиВГ реальной динамикой САУК.

С этой целью из баз данных стендовых испытаний сформированы тестовые массивы измеренных азрт (Гт) с дискретностью 10 мс и использованы в качестве управляющих воздействий для модели 2-ДСУ с реальной ТиВГ по модели ОАО «Камов».

Дополнительно, в указанных базах данных выполнено устранение тренда и полученная колебательная составляющая реального функционирования НД-450 с РДЦ-450 использована в качестве помеховой составляющей по регулируемому параметру  $\Delta G_t$  в реализованной модели (рис. 8).

В условиях проведенного компьютерного эксперимента с экспериментальными базами данных режимов вынужденных колебаний и срывов синхронизации не зафиксировано.

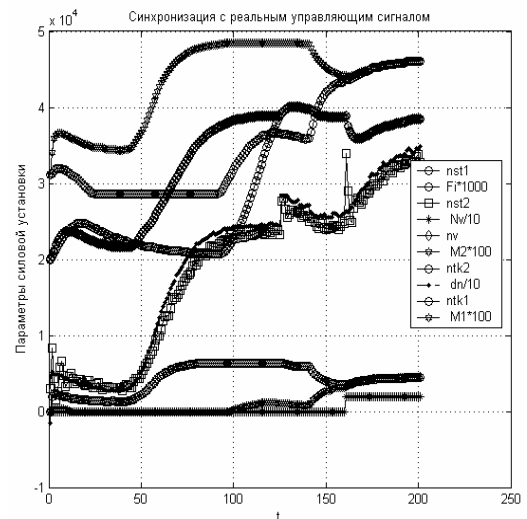


Рис. 8. Динамика синхронизации двухдвигательной силовой установки с реальной трансмиссией по оборотам турбокомпрессора и реальным оборотам турбокомпрессора с реальным управляющим сигналом

## Заключение

Основной задачей, решаемой при построении математической модели двухдвигательной силовой установки, является достижение ее соответствия реальным характеристикам двигателей и нагрузки в статических и динамических режимах. Такое соответствие позволяет выполнить численное моделирование и сопоставление различных алгоритмов синхронизации и управления мощностью. При реализации указанных алгоритмов должно быть исключено возбуждение управляемым сигналом расхода топлива крутильных колебаний трансмиссии с частотами, близкими к собственным частотам колебания системы, состоящей из винтов, редуктора и свободных турбин двигателей. Численная реализация верифицированных моделей с использованием реальных баз данных стендовых испытаний позволила установить преимущества алгоритмов синхронизации по крутящему моменту, если будет обеспечена необходимая точность его измерения. При использовании всех рассмотренных алгоритмов проблемным вопросом является неблагоприятная динамика по оборотам свободной турбины при изменении загрузки винта, что требует введения измерительного канала и корректирующего контура по указанному параметру.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в детализации нелинейных статических характеристик нагрузки и уточнении параметров разработанной модели по данным стендовых испытаний двухдвигательной силовой установки.

**Литература**

1. Куликов Г.Г. Марковские модели сложных динамических систем идентификация, моделирование, и контроль состояния / Г.Г. Куликов, П.Дж. Флеминг и др. – Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 1998. – 104 с.

2. Епифанов С.В. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей / С.В. Епифанов, В.Л. Кузнецов, И.Н. Богаенко и др. – К.: Техніка, 1998. – 312 с.

3. Шевяков А.А. Автоматика авиационных и ракетных силовых установок. – М.: Машиностроение, 1970. – 660 с.

4. Глумов В.М. Модально-физическая модель пространственного углового движения деформируемого космического аппарата и ее свойства / В.М. Глумов, С.Д. Земляков, В.Ю. Рутковский,

В.М. Суханов // Автоматика и телемеханика. – 1998. – № 12. – С. 52-50.

5. Рутковский В.Ю. К вопросу о мониторинге состояния трансмиссии турбовинтовых двигателей / В.Ю. Рутковский, С.Д. Земляков, В.М. Суханов, В.М. Глумов, Г.Г. Куликов, С.В. Епифанов // Труды ИПУ РАН. – 2002. – Т. 19. – С. 52-67.

6. Рутковский В.Ю. Информативные признаки, предшествующие обрыву вала трансмиссии ТВД / В.Ю. Рутковский, С.Д. Земляков, В.М. Глумов, С.В. Епифанов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2004. – №7(15). – С. 174-178.

7. Рутковский В.Ю. Задача согласования лагранжевой модели упругой трансмиссии ТВД с моделями индукционного датчика оборотов и моментов винтов / В.Ю. Рутковский, В.М. Суханов, С.В. Епифанов // Авиационно-космическая техника и технология. 2004. – № 4(12). – С. 43-47.

Поступила в редакцию 1.06.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Л. Костенко, Одесский национальный политехнический университет, Одесса, Украина.

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ГВИНТОКРИЛА У СКЛАДІ ДВОХ ТУРБОВАЛЬНИХ ДВИГУНІВ З РЕДУКТОРОМ ТА ДВОРЯДНИМ ГВИНТОМ: АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ**

*В.Ф. Миргород*

На основі математичної моделі динамічних режимів силової установки гвинт окрила, що враховує крутильних коливань трансмісії та динаміку гвинтової групи, розглянуто вирішення задачі управління режимами та синхронізації турбовальних двигунів. Виконана комп'ютерна реалізація розроблених математичних моделей із застосуванням баз даних стендових випробувань турбовального двигуна. Проведено співставлення і порівняльний аналіз різних алгоритмів синхронізації потужності розглянутої силової установки.

**Ключові слова:** газотурбінний двигун, динаміка, система управління, моделювання, синхронізація.

**MATHEMATICAL MODEL OF THE HELICOPTER'S POWER-PLANT IN STRUCTURE OF TWO TURBOSHAFT ENGINES WITH A REDUCER AND DOUBLE-ROW PROPELLER: THE ANALYSIS OF ALGORITHMS OF SYNCHRONIZATION**

*V.F. Mirgorod*

On the basis of the mathematical model of dynamic behavior of a helicopter's power-plant, which considering torsional oscillation of transmission and dynamics of propeller group, the decision of a problem of behavior and control of turbo shaft engines is considered. Computer realization of the developed mathematical models with use of databases of bench test of turbo shaft engines is executed. Comparison and the comparative analysis for various algorithms of power synchronization of considered power-plant is led.

**Key words:** gas turbine engine, dynamics, control system, modeling, synchronization.

**Миргород Владимир Федорович** – канд. техн. наук, доцент, зам. директора по научной работе ОАО «Элемент», Одесса, Украина, e-mail: odessa @ element.od.ua.