

УДК 62–552.5

## ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР ПОСТОЯННЫХ ОБОРОТОВ ВИНТА ИЗМЕНЯЕМОГО ШАГА, ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И РАЗВИТИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Савельев Д.В.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, [savel99b@yandex.ru](mailto:savel99b@yandex.ru)

*Ключевые слова:* авиационный поршневого двигателя, винт изменяемого шага, гидравлический регулятор, математическая модель, SAMSIM, ALLBEA.

В начале авиационной эры самолёты с винтовой тягой сталкивались с множеством конструктивных недостатков. Одним из ключевых был винт: для каждой модели самолёта и двигателя требовался индивидуальный винт с фиксированным углом наклона лопастей. Однако, после Первой мировой войны инженеры совершили прорыв, создав винт с изменяемым шагом, способный регулировать угол наклона лопастей прямо в полёте, что стало возможным благодаря внедрению регулятора шага.

Среди разнообразия регуляторов шага винта особое внимание заслуживает гидравлический регулятор. Используя принцип центробежного регулятора и масло под давлением, подаваемое от двигателя, он обеспечивал изменение угла наклона лопастей, поддерживая оптимальную частоту вращения.

Исследование гидравлического регулятора включало в себя задачу построения его математической модели. Изучив формулы из источника [1] и [2], вывели уравнения, описывающие характеристики самолёта (1), двигателя (2) и регулятора (3). Где  $T_1$  и  $T_4$  – постоянная времени двигателя и самолёта соответственно;  $k_1$  и  $k_4$  – коэффициент усиления двигателя и самолёта соответственно;  $x_1$  – изменение частоты оборотов;  $x_2$  – изменение смещения муфты;  $x_4$  – изменение скорости;  $p$  – оператор;  $\mu$  – изменение угла установки лопастей;  $f(t)$  – возмущение, действующее на объект;  $d$  – коэффициент затухания;  $v_2$  – скорость смещения муфты;  $\alpha_{14}$  и  $\alpha_{41}$  – начальный коэффициент тяги двигателя и самолёта соответственно.

$$-a_{41}x_1 + (T_4p + 1)x_4 = k_4\mu \quad (1)$$

$$(T_1p + 1)x_1 + a_{14}x_4 = -k_1\mu + f(t) \quad (2)$$

$$(p^2 + 2dv_2p + v_2^2)x_2 = k_2v_2^2x_1 \quad (3)$$

Их интеграция привела к созданию передаточной функции, которая делится на 3 передаточные функции (4), каждая из которых характеризует свой элемент системы, они были использованы для моделирования изменения угла наклона лопастей в программе *SamSim v. 1.1.3*.

$$\left. \begin{aligned} Wp_1 &= -\frac{k_1}{(T_1p + 1)} \\ Wp_2 &= -\frac{k_4}{(T_1p + 1)(T_4p + 1)} \\ Wp_3 &= \frac{f(t)}{(T_1p + 1)} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Используя полученные переходные процессы, была построена математическая модель в программе *SamSim* (рис. 1). Модель была запущена, в результате получен график переходного процесса, который изображен на рис. 2.

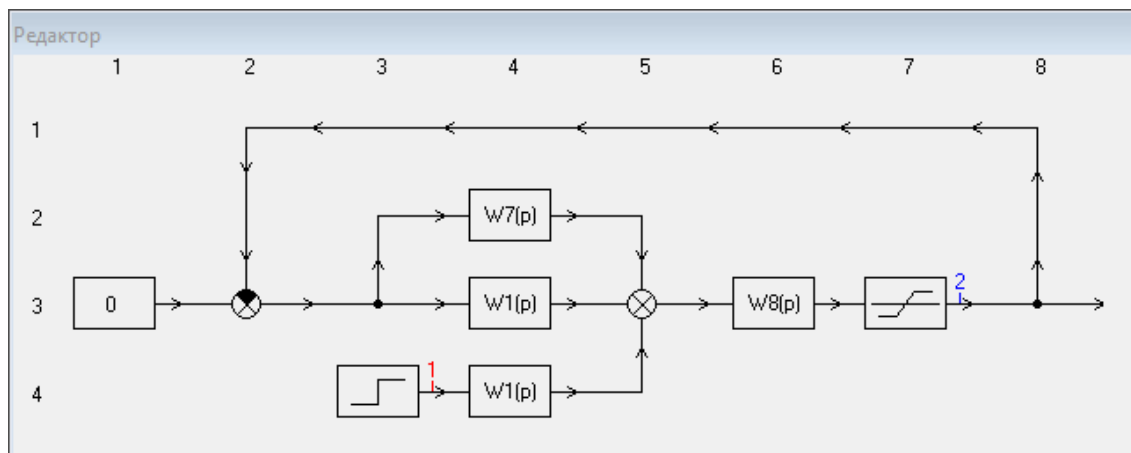


Рис.1. Полученная математическая модель в программе SamSim

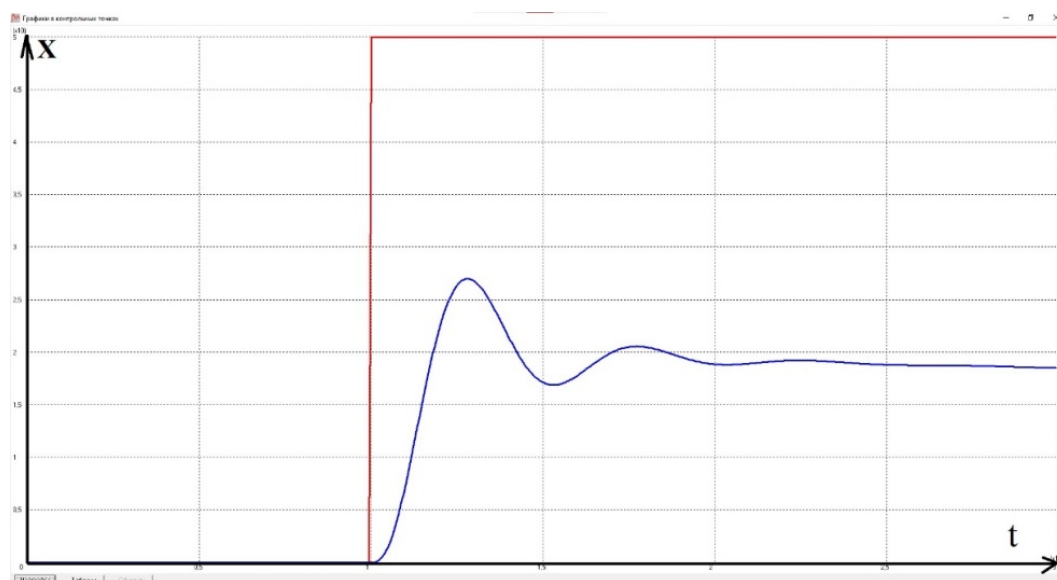


Рис. 2. График переходного процесса

На кафедре двигателей внутреннего сгорания был разработан программный пакет *ALLBEA* для математического расчёта двигателей транспортных средств. Текущая задача заключается в интеграции модели винта с изменяемым шагом в *ALLBEA*, что позволит задавать параметры винта, тип регулятора, количество лопастей и другие характеристики. Это даст возможность анализировать работу винта с различными двигателями, оценивать тягу, взлётную мощность и влияние изменения угла наклона лопастей на лётные характеристики.

В процессе дальнейших исследований мы столкнулись с необходимостью расширения математической модели винта, включив в нее дополнительные уравнения, учитывающие тягу, сопротивление, количество и угол наклона лопастей, их высоту и другие параметры. Эти уравнения позволят нам точно настроить регулятор и построить корректную математическую модель.

### Список литературы

1. Борисов А.О. Автоматическое регулирование и управление ДВС: лабораторный практикум по дисциплине «Автоматическое регулирование и управление ДВС» / Уфимск. гос авиац. техн. ун-т; Сост.: А. О. Борисов. Уфа, 2017. 37 с.
2. Боднер В.А. Автоматика авиационных двигателей издание 2-е, исправленное и дополненное / Государственное издание оборонной промышленности; Сост.: В. А. Боднер. Москва, 1956. 99 с.

### Сведения об авторе

Савельев Д.В., аспирант. Область научных интересов: авиационные поршневые двигатели, системы автоматического регулирования, математическое моделирование.

## HYDRAULIC CONSTANT SPEED REGULATOR OF A VARIABLE PITCH PROPELLER, CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL AND DEVELOPMENT OF SIMULATION CAPABILITY

Savelyev D.V.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia, [savel99b@yandex.ru](mailto:savel99b@yandex.ru)

*Keywords: aviation piston engine, variable pitch propeller, hydraulic regulator, mathematical model, SAMSIM, ALLBEA*

Early aviation faced challenges with propeller design, specifically the fixed blade angle. The post-WWI invention of the variable-pitch propeller, which allowed in-flight blade angle adjustments, was a significant advancement. This innovation was enabled by the pitch regulator, particularly the hydraulic regulator, which used the centrifugal governor principle and engine oil pressure to maintain optimal propeller rotation.

The hydraulic regulator's effectiveness was proven through mathematical modeling. Equations representing the aircraft, engine, and regulator were integrated into a transfer function, divided into three sub-functions for each system component. These functions were applied in the *SamSim* v. 1.1.3 program to simulate blade angle adjustments.

Comparative analysis of blade angle transitions from *SamSim* and another study confirmed the model's accuracy. The *ALLBEA* software, developed for engine calculations, is now being updated to include the variable-pitch propeller model. This integration will allow for detailed analysis of propeller performance with different engines, evaluating factors like thrust and takeoff power. Further research is expanding the mathematical model to include equations for thrust, resistance, blade count and angle, and other variables. This will enhance the precision of regulator settings and the overall mathematical model's accuracy.