

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

В Казённом предприятии "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению" (КП ХКБД) проходит испытания образец электромагнитного исполнительного устройства, предназначенного для использования в электрогидромеханических регуляторах систем регулирования двигателей. Электромагнитное исполнительное устройство состоит из размещенных в одном корпусе электромагнита поворотного типа и индуктивного датчика положения выходного вала, ротор которого установлен на валу электромагнита. Электромагнит имеет направленное действие, для чего применена магнитная схема с постоянными магнитами, установленными на роторе и двумя обмотками на статоре. Магнитные поля обмоток имеют встречное направление. Изменение направления усилия обеспечивается подачей напряжения на ту или иную обмотку. Задачей данного исследования являлось изучение свойств электромагнита путем нахождения параметров математической модели с целью оценки качества электромагнитного устройства как элемента электронной системы регулирования и управления двигателем. Основные процессы, происходящие в электромагните, могут быть описаны системой линейных дифференциальных уравнений [1]:

$$J\alpha'' = K_y(I - I_c) - \theta\alpha' ; \quad (1)$$

$$LI' + K_u\alpha' + IR = U , \quad (2)$$

полученных после линеаризации всех нелинейных функциональных зависимостей с учетом некоторых дополнительных предположений. Так, уравнение (1) модели представляет собой уравнение движения ротора электромагнита, в правой части которого записана разность момента, приложенного к валу магнита, и момента сопротивления движению вала в пред-

положении линейной зависимости последнего от скорости магнита (коэффициент  $\theta$ ). Уравнение (2) суть закон Ома для цепи, содержащей индуктивность и электродвижущую силу электромагнитной индукции в предположении, что величина индуктивности  $L$  постоянна и не зависит от перемещения ротора магнита.

Здесь  $\alpha = \alpha(t)$  — угол поворота магнита;  $I = I(t)$  — ток, определяемый как разность токов в обмотках электромагнита;  $U = U(t)$  — напряжение питания;  $I_c$  — ток сопротивления;  $J$  — момент инерции ротора электромагнита;  $K_y$  — коэффициент усиления;  $R$  — сопротивление обмотки;  $L$  — индуктивность;  $K_u$  — коэффициент индукции;  $\theta$  — коэффициент сопротивления движению магнита. Величина тока сопротивления связана с механической нагрузкой магнита  $M_c$  соотношением:

$$I_c = \frac{M_c}{K_y} .$$

Переходя к безразмерным относительным координатам

$$\alpha = \frac{a - a_0}{a_0} , i = \frac{I - I_0}{I_0} , u = \frac{U - U_0}{U_0} \quad (3)$$

и обозначив

$$T_m^2 = \frac{J \cdot a_0}{K_y \cdot I_0} \quad (4) \quad (T_m \text{ — постоянная времени магнита механическая});$$

$$T_0 = \frac{\theta \cdot a_0}{K_y \cdot I_0} \quad (5) \quad (\text{постоянная времени сопротивления движению ротора магнита});$$

$$T_e = \frac{L}{R} \quad (6) \quad (\text{электрическая постоянная времени обмотки магнита});$$

$$T_i = \frac{K_u \cdot a_0}{I_0 \cdot R} \quad (7) \quad (\text{электрическая постоянная времени индукции}),$$

получим безразмерную форму уравнений (1)-(2):

$$T_m^2 \alpha'' + T_0 \alpha' = i - i_c ; \quad (8)$$

$$T_e i' + T_i \alpha' + i = u , \quad (9)$$

где  $i_c$  — относительный ток сопротивления.

Значения параметров модели находили на основании осциллограмм переходных процессов магнита, снятых при ступенчатом изменении напряжения обмотки от нулевого значения до номинального при различных номинальных значениях тока. При этом, чтобы уменьшить влияние на расчет случайной составляющей эксперимента и погрешности измерений, усредняли осциллограммы, относящиеся к одному режиму, обрабатывая затем уже усредненные осциллограммы. Методами численного дифференцирования с последующей интерполяцией со сглаживанием получали кривые производной тока, а также первой и второй производной перемещения магнита, при  $t \geq 0$  (точность вычислений контролировали визуальным сопоставлением графиков интегралов от

полученных производных с исходными переходными процессами на осциллограммах). Далее, поскольку при каждом  $t$  равенства (8)-(9) должны иметь место, то, очевидно, зафиксировав два момента времени  $t_1$  и  $t_2$  и подставив значения искомым функций в соотношения (8)-(9), можем получить значения постоянных времени магнита. Многократно с помощью ЭВМ проделав подобные вычисления для различных  $t_1$  и  $t_2$ , в результате получили наборы значений постоянных  $T_m^2$ ,  $T_\theta$ ,  $T_e$ ,  $T_i$  на каждом из режимов. Значения постоянных времени на разных режимах приведены в таблице 1; кроме того, табличные данные представлены также в виде диаграмм, изображенных на рис. 1.

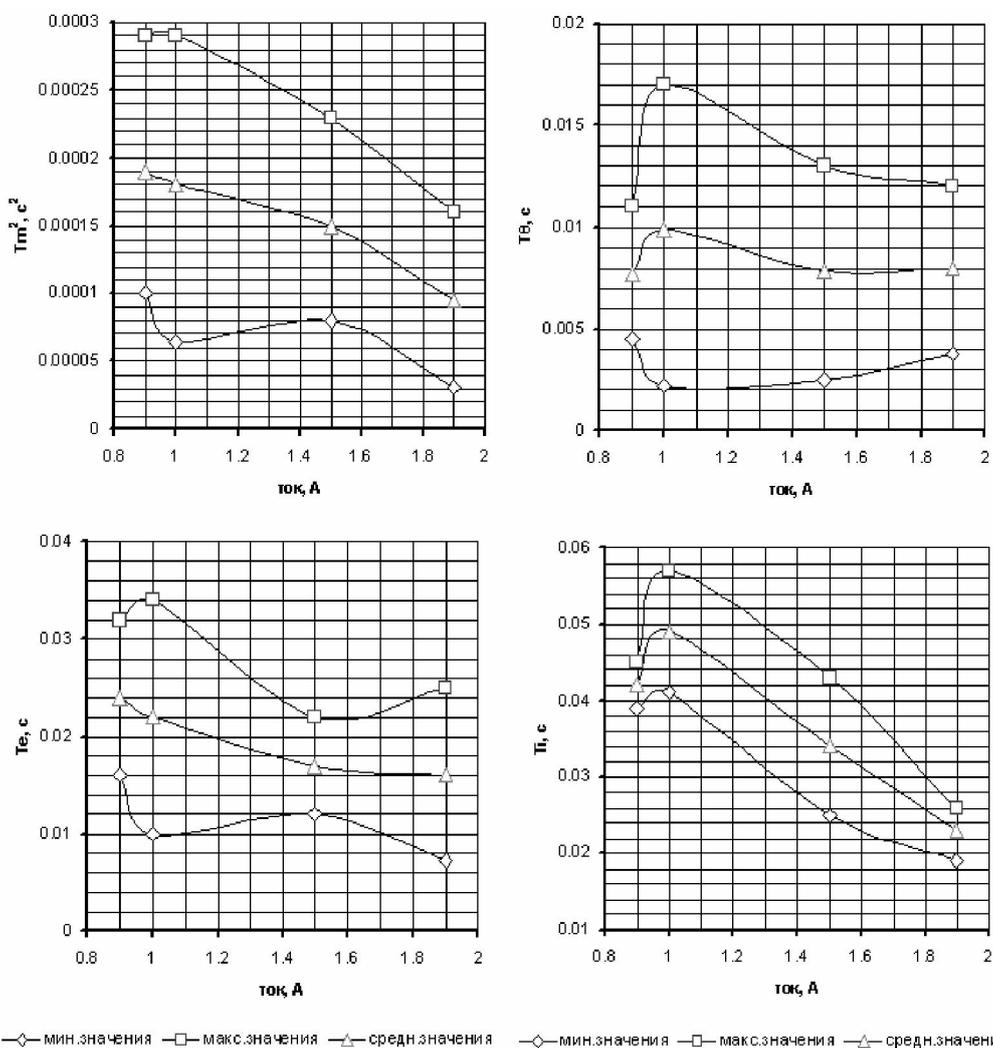


Рис. 1. Зависимость постоянных времени электромагнитного исполнительного устройства

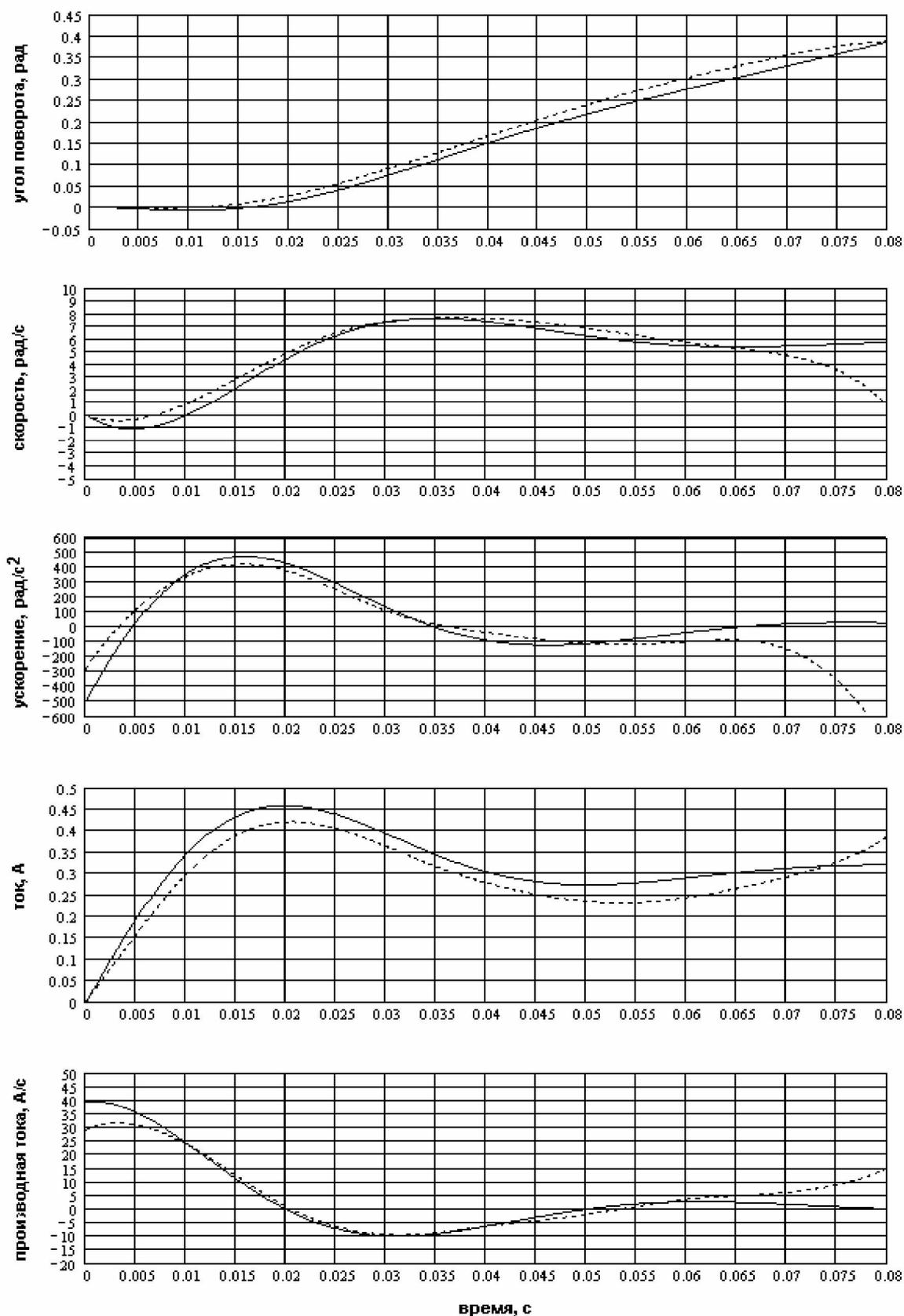


Рис. 2. Переходный процесс на режиме 0,9 А  
(——— - расчетные кривые, ----- - экспериментальные кривые)

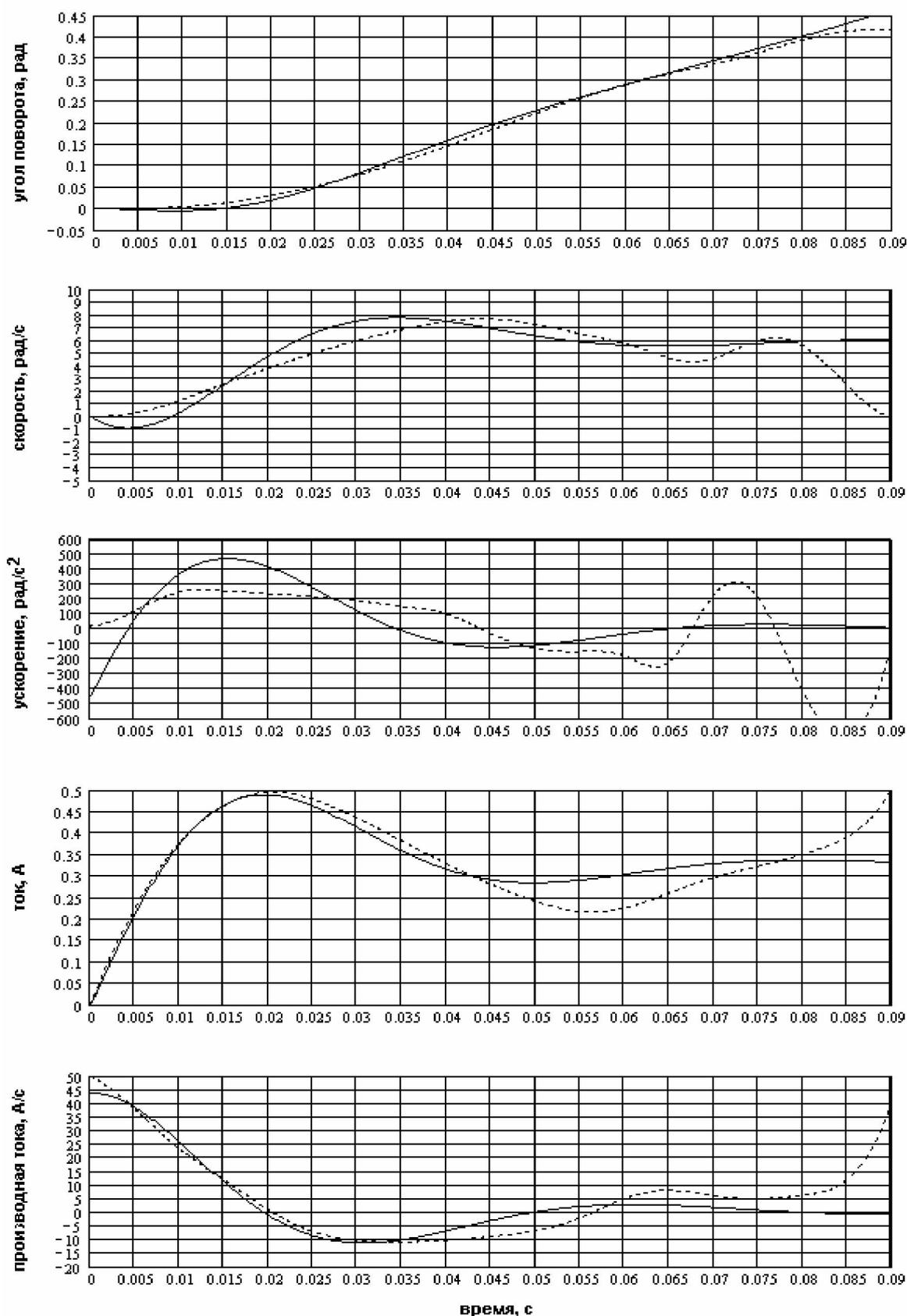


Рис. 3. Переходный процесс на режиме 1 А  
(—— - расчетные кривые, ----- - экспериментальные кривые)

Таблица 1. Значения постоянных времени, полученные после обработки осциллограмм

Номинальный ток	Величина	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее значение
1,9 А	$T_m^2$	0,000031	0,00016	0,000095
	$T_\theta$	0,0038	0,012	0,008
	$T_e$	0,0073	0,025	0,016
	$T_i$	0,019	0,026	0,023
1,5 А	$T_m^2$	0,00008	0,00023	0,00015
	$T_\theta$	0,0025	0,013	0,0078
	$T_e$	0,012	0,022	0,017
	$T_i$	0,025	0,043	0,034
1 А	$T_m^2$	0,000064	0,00029	0,00018
	$T_\theta$	0,0022	0,017	0,0099
	$T_e$	0,01	0,034	0,022
	$T_i$	0,041	0,057	0,049
0,9 А	$T_m^2$	0,0001	0,00029	0,00019
	$T_\theta$	0,0045	0,011	0,0077
	$T_e$	0,016	0,032	0,024
	$T_i$	0,039	0,045	0,042

Как видно из таблицы 1, имеет место существенный разброс между минимальными и максимальными значениями постоянных времени (что также иллюстрирует рис. 1), связанный с нелинейностью процессов, происходящих в магните, что определенным образом затрудняет выбор значений параметров модели, которые бы не зависели от режима. Экспериментальные исследования электронной системы регулирования с электромагнитным исполнительным устройством показали, что величина токов при работе устройства в составе системы регулирования составляет около 1 А. Поэтому в качестве окончатель-

ных значений для линейризованной модели (8)-(9) приняты средние значения по режимам 0.9 А и 1 А, которые составили:

$$T_m^2=0,000185с^2, T_\theta=0,0086с, T_e=0,023с, T_i=0,046с. (10)$$

Графики расчетных и экспериментальных переходных процессов на режимах 0.9 А и 1 А приведены на рис. 2-3, из которых видно, что модель (8)-(9) с коэффициентами (10) удовлетворительно описывает поведение электромагнита.

Полученные постоянные времени образца электромагнитного исполнительного устройства с двумя обмотками оказались меньше постоянных времени аналогичных устройств с одной обмоткой, что способствует применению данного устройства в производстве электронных регуляторов.

На рис. 4 приведена амплитудно-частотная характеристика электромагнита, рассчитанная по уравнениям модели (8)-(9). Вид амплитудно-частотной характеристики, в частности, показывает, что полоса пропускания электромагнита доходит до 20 Гц, при этом собственный резонанс на частоте 16 Гц подавлен довольно высокой постоянной времени сопротивления движению. В целом протекание АЧХ благоприятно для использования электромагнита в системах автоматического регулирования частотой вращения двигателя.

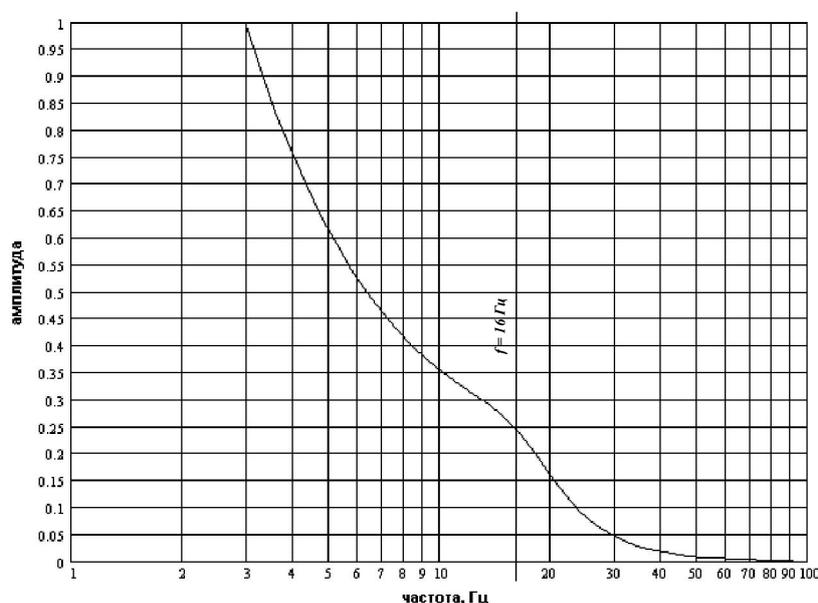


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика электромагнитного исполнительного устройства

Найденные параметры математической модели электромагнита (10) могут быть использованы при моделировании переходных процессов в электронной системе.

**Список литературы:**

1. Руденко А.Н. Устойчивость модели САРЧ дизеля с электронным регулятором // Новые работы в области совершенствования систем и агрегатов дизелей. Сборник научн. трудов ЦНИДИ п/ред. В.И.Балакина. -Ленинград, 1987. с. 46-58.

УДК 621.43.016

*А.В.Тринёв, канд. техн. наук, А.Н. Авраменко, инж., И.А. Москалев, инж.*

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ ТАРЕЛКИ КЛАПАНА НА ТЕПЛОНАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЫПУСКНЫХ КЛАПАНОВ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ**

**Введение**

На протяжении многих лет расчетный анализ теплонапряженного состояния деталей сложной геометрической формы был связан с определенными трудностями, связанными главным образом, с невозможностью учесть все конструктивные особенности детали и длительным процессом подготовки исходных данных.

Развитие современных программных комплексов, использующих CAD/CAE технологии, позволило существенно расширить диапазон решаемых технических задач. В первую очередь это касается возможности учета сложной внутренней и внешней геометрии исследуемых деталей, возможности моделирования трехмерных сборок деталей с учетом кинематических взаимосвязей и точного вычисления массогабаритных характеристик этих деталей.

Использование таких программных комплексов позволяет значительно уменьшить затраты времени, связанные с подготовкой исходных данных, необходимых для расчета теплонапряженного состояния (задание геометрии детали, граничных условий зада-

чи теплопроводности и механики).

**Анализ публикаций**

Аналізу теплонапряженного состояния (ТНС) выпускных клапанов и влиянию конструктивных вариантов тарелки на ТНС клапана в литературных источниках уделяется недостаточное внимание и зачастую результаты анализ носят противоречивый характер.

Так, например, проф. Дьяченко Н.Х. и проф. Костин А.К. в работе [1] приводят сравнительный анализ изменения температурного поля клапана в зависимости от геометрии тарелки. В данной работе анализируются клапаны с выпуклой и вогнутой формой тарелки, при этом авторы отмечают снижение температуры в центре тарелки клапана на  $20 - 29$  °С для клапана с выпуклой формой тарелки и увеличение температуры в центре тарелки клапана в среднем на  $20$  °С, для клапана с вогнутой формой тарелки, по сравнению с температурой серийного клапана. Для расчетного анализа температурного состояния клапана использовался метод электротепловой ана-