

УДК 531.74:628.92

д.т.н., проф. Кошевой Н.Д. (НАКУ «ХАИ»)
Бурлеев О.Л. (НАКУ «ХАИ»)

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ФОТОПРИЕМНИКОВ ПРИ КОНТРОЛЕ УГЛОВОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РУЛЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ САМОЛЕТА

Произведена оптимизация геометрического расположения фотоприемников с помощью полунатурного моделирования на лабораторной установке. Усовершенствован метод контроля углового перемещения рулевой поверхности самолета. Найдены оптимальные параметры геометрического расположения фотоприемников, позволяющие расширить диапазон измерения, повысить чувствительность и упростить конструкцию измерительного устройства.

Ключевые слова: угловое перемещение, чувствительность, оптимизация, автоматизация, фотоприемник, полунатурное моделирование

Постановка проблемы. Создание высокоточных цифровых измерительных средств, которые могут легко сопрягаться с современными компьютерными системами, является одной из основных задач при контроле параметров систем автоматического управления летательным аппаратом.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [1] представлен фотоэлектрический преобразователь для измерения угла поворота рулевых поверхностей

самолета. Недостатком представленного устройства является отсутствие оптимального с точки зрения чувствительности геометрического расположения фотоприемников по отношению к источнику излучения.

Целью исследования является нахождение математических моделей в каждой контрольной точке диапазона измерений, позволяющих оптимизировать с точки зрения чувствительности геометрическое расположение фотоприемников по отношению к источнику излучения. А также на основании полученных результатов выдать рекомендации по проектированию компьютерной системы контроля угловых перемещений рулевых поверхностей самолета.

Основной материал исследования.

Экспериментальная установка. Достижение цели исследования осуществлялось благодаря полунатурному моделированию процесса измерения углового перемещения рулевой поверхности самолета на экспериментальной установке представленной на рис. 1. К основанию 1 крепится поворотный штатив 2, измерительная плата 3 и две подставки 4, в которые устанавливаются две направляющие 5 и фиксируются в них с помощью четырех гаек 6. Поворотный штатив 2 оснащен ручкой с фиксатором 7 и градуировочной шкалой 8. К нему присоединяется Г-образный металлический рычаг 9, верхняя часть которого моделирует внешнюю сторону рулевой поверхности самолета. С помощью клеевого соединения на рычаг 9 устанавливается платформа 10 из неметаллического материала, на которой закрепляется держатель передающей части 11 с источником излучения 12, установленный на расстоянии B от оси вращения. Принимающая часть состоит рамки 13, нижняя часть которой крепится к направляющим 5 с помощью гаек 14, а к верхней присоединяется держатель приемной части 15 с фотоприемниками 16. Источник излучения (ИИ) 12 и фотоприемники (ФП) 16 связаны с измерительной платой 3 соединительными проводами 17. В начальном положении держатель передающей части 11 и приемной части 15 находятся на расстоянии L друг от друга при чем главная ось источника излучения 12 совпадает с главной осью центрального фотоприемника 16.

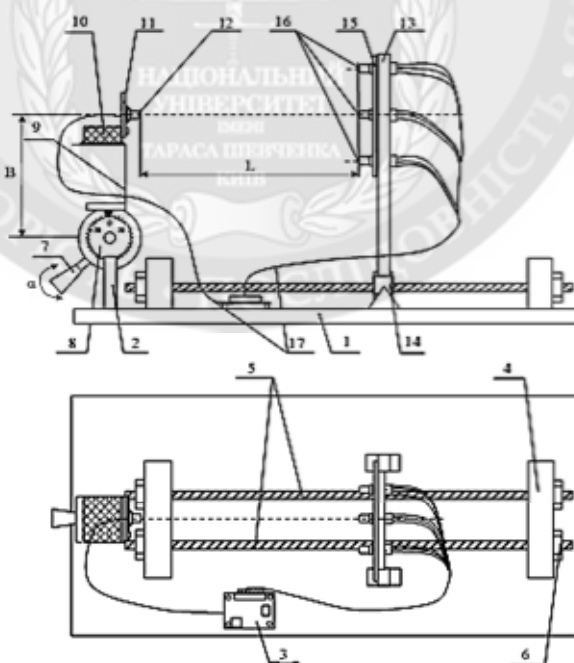


Рис. 1. Экспериментальная установка, моделирующая процесс измерения углового перемещения рулевой поверхности самолета

Принцип работы указанной экспериментальной установки заключается в следующем. С помощью гаек 14 рамка 13 фиксируется на расстоянии L от держателя передающей части 11. Измерительная плата 3 подключается к стабилизированному источнику питания $+12V$

(на рисунке не показан). Затем, перемещая ручку с фиксатором 6, последовательно с шагом $\Delta\alpha$ по градуировочной шкале 7 задается угловое положение поворотного штатива 2. Благодаря его жесткому сцеплению с Г-образным металлическим рычагом 8 и платформой 9, это перемещение передается на держатель передающей части 11 с источником излучения 12. Фотоприемники 16 воспринимают распределение интенсивности светового потока и преобразовывают ее в соответствующее напряжение, которое по соединительным проводам 17 передается на измерительную плату 3. Съем сигнала осуществляется с каждого фотоприемника 16 в отдельности.

Принципиальная схема. Принципиальная схема устройства представлена на рис. 2.

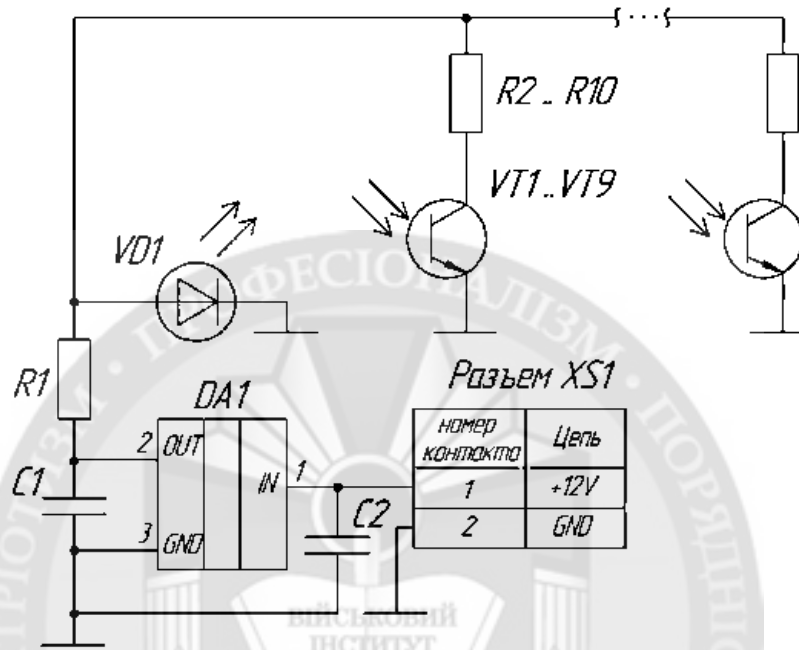


Рис. 2. Принципиальная схема экспериментальной установки

В состав схемы входят следующие элементы: светоизлучающий диод ($VD1$) в ближнем инфракрасном диапазоне с ограничивающим резистором $R1$, фотоприемники ИК сигналов $VT1 \dots VT9$ с коллекторными резисторами $R2 \dots R10$, стабилизатор питающего напряжения $DA1$ с высокочастотными фильтрами в виде конденсаторов $C1, C2$. Съем сигнал производится цифровым мультиметром Mastech-MS8200G с резисторов $R2 \dots R10$. Его основные технические характеристики в [2].

Планирование эксперимента. В качестве критерия оптимизации было выбрано напряжения на фотоприемнике VT , зависящее от углового перемещения α , поскольку его значение прямо пропорционально чувствительности исследуемого преобразователя. Диапазон изменения углового перемещения: $\alpha \in [-30^\circ; 30^\circ]$ с шагом $\Delta\alpha = 5^\circ$.

Факторами, влияющими на эту характеристику, были выбраны:

- 1) $X1$ – смещение по горизонтальной оси относительно главной оси источника излучения X , мм;
- 2) $X2$ – смещение по вертикальной оси относительно главной оси источника излучения Y , мм.

В таблице 1 представлены интервалы варьирования и основные уровни факторов.

Таблица 1

Факторы	Уровни факторов			Интервалы варьирования	Размерность
	- 1	0	+ 1		
$x_1(x)$	-30	0	+30	30	мм
$x_2(y)$	-70	0	+70	70	мм

Поскольку линейные модели позволяют определить лишь область в окрестности точки оптимума, то целесообразным является применение моделей более высокого порядка, чтобы повысить точность нахождения оптимального решения для заданного параметра оптимизации [3]. В проводимом эксперименте будет синтезирована квадратичная модель вида:

$$U_{fd}(\alpha) = \tilde{b}_0 + \sum_{j=1}^2 b_j x_j + \sum_{j=1}^1 \sum_{u=j+1}^2 b_{ju} x_j x_u + \sum_{j=1}^k b_{jj} (x_j^2 - c),$$

где:

$$\tilde{b}_0 = b_0 + c \sum_{j=1}^2 b_{jj}.$$

Размещение фотоприемных элементов осуществляется в точках ортогонального центрального композиционного плана (ОЦКП) (рис. 3).

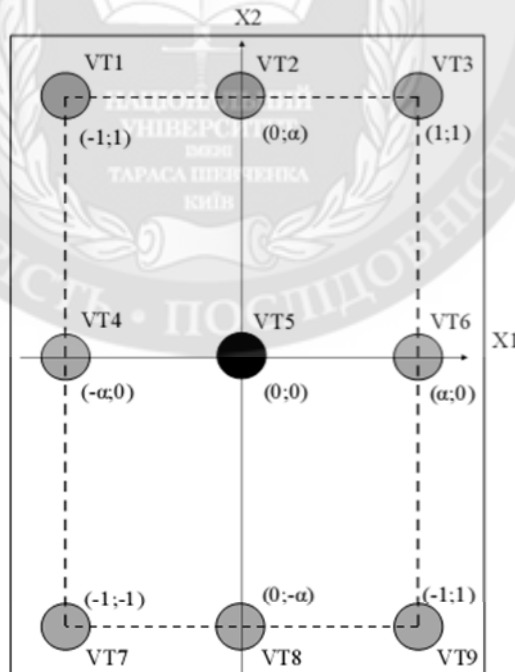


Рис. 3. Размещение фотоприемных элементов в точках ОЦКП

Измерения производились при трех различных значениях расстояния между держателем источника излучения и держателя фотоприемников L , а именно: а) $L_1 = 110$ мм; б) $L_2 = 150$ мм; в) $L_3 = 220$ мм. Расстояние от оси вращения объекта измерения до главной

оси источника излучения $B = 150$ мм. В таблице 2 представлены численные результаты исследования, а на рисунках 4-6 графические зависимости напряжения на фотоприемниках $Ufd(\alpha)$ в каждой точке ОЦКП для $L1, L2, L3$.

Таблица 2

Результаты реализации ОЦКП эксперимента

L1														
№ эксп.	№ _{VD}	$U(\alpha_1^*)$	$U(\alpha_2)$	$U(\alpha_3)$	$U(\alpha_4)$	$U(\alpha_5)$	$U(\alpha_6)$	$U(\alpha_7)$	$U(\alpha_8)$	$U(\alpha_9)$	$U(\alpha_{10})$	$U(\alpha_{11})$	$U(\alpha_{12})$	$U(\alpha_{13})$
1	VD1	0,380	0,650	0,990	1,160	1,140	0,480	0,060	0,030	0,030	0,020	0,000	0,000	0,000
2	VD2	0,550	0,950	1,110	1,800	1,640	1,430	0,150	0,040	0,030	0,010	0,000	0,000	0,000
3	VD3	0,160	0,260	0,310	0,350	0,310	0,140	0,020	0,020	0,020	0,010	0,000	0,000	0,000
4	VD4	0,070	0,100	0,150	0,300	1,370	2,820	4,530	2,970	0,450	0,130	0,110	0,030	0,000
5	VD5	0,050	0,070	0,110	0,670	1,700	2,910	4,530	4,650	4,650	0,680	0,160	0,030	0,000
6	VD6	0,060	0,080	0,130	0,290	1,070	1,640	2,490	1,920	0,370	0,160	0,110	0,030	0,000
7	VD7	0,030	0,040	0,040	0,040	0,050	0,050	0,050	0,090	0,120	0,160	0,190	0,250	0,210
8	VD8	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,060	0,100	0,840	2,670	4,700	4,790
9	VD9	0,020	0,020	0,020	0,020	0,030	0,030	0,040	0,070	0,100	0,150	0,200	0,250	0,250
L2														
№ эксп.	№ _{VD}	$U(\alpha_1^*)$	$U(\alpha_2)$	$U(\alpha_3)$	$U(\alpha_4)$	$U(\alpha_5)$	$U(\alpha_6)$	$U(\alpha_7)$	$U(\alpha_8)$	$U(\alpha_9)$	$U(\alpha_{10})$	$U(\alpha_{11})$	$U(\alpha_{12})$	$U(\alpha_{13})$
1	VD1	0,140	0,390	0,610	0,740	0,800	0,850	0,150	0,040	0,020	0,020	0,010	0,000	0,000
2	VD2	0,290	0,600	0,850	1,180	1,430	1,570	0,750	0,090	0,040	0,020	0,010	0,000	0,000
3	VD3	0,090	0,220	0,280	0,340	0,350	0,240	0,080	0,020	0,020	0,010	0,010	0,000	0,000
4	VD4	0,050	0,070	0,110	0,220	1,000	1,970	3,000	3,170	1,050	0,210	0,070	0,060	0,020
5	VD5	0,040	0,050	0,090	0,480	1,070	1,700	2,620	3,440	3,990	0,540	0,230	0,080	0,020
6	VD6	0,050	0,060	0,100	0,320	0,910	1,390	1,850	2,180	1,050	0,230	0,110	0,070	0,020
7	VD7	0,030	0,030	0,040	0,040	0,050	0,060	0,080	0,170	0,560	1,380	2,000	0,600	0,510
8	VD8	0,010	0,020	0,020	0,020	0,020	0,030	0,050	0,320	0,680	1,320	3,210	4,680	2,860
9	VD9	0,010	0,020	0,020	0,030	0,030	0,040	0,060	0,180	0,440	0,790	1,210	0,470	0,310
L3														
№ эксп.	№ _{VD}	$U(\alpha_1^*)$	$U(\alpha_2)$	$U(\alpha_3)$	$U(\alpha_4)$	$U(\alpha_5)$	$U(\alpha_6)$	$U(\alpha_7)$	$U(\alpha_8)$	$U(\alpha_9)$	$U(\alpha_{10})$	$U(\alpha_{11})$	$U(\alpha_{12})$	$U(\alpha_{13})$
1	VD1	0,050	0,340	0,580	0,650	0,850	0,840	0,730	0,090	0,040	0,010	0,010	0,010	0,010
2	VD2	0,040	0,320	0,500	0,590	0,880	0,900	0,940	0,150	0,070	0,030	0,010	0,010	0,000
3	VD3	0,030	0,220	0,320	0,370	0,460	0,450	0,330	0,060	0,030	0,000	0,000	0,010	0,000
4	VD4	0,020	0,030	0,060	0,330	0,700	1,150	1,500	1,840	1,640	0,250	0,100	0,050	0,020
5	VD5	0,010	0,020	0,040	0,330	0,600	0,850	1,350	1,590	1,930	0,750	0,170	0,100	0,050
6	VD6	0,010	0,020	0,040	0,230	0,510	0,710	0,890	1,100	0,810	0,150	0,070	0,030	0,020
7	VD7	0,010	0,020	0,020	0,030	0,040	0,070	0,370	0,850	1,500	2,310	3,050	2,300	0,500
8	VD8	0,000	0,000	0,000	0,010	0,010	0,030	0,270	0,540	0,730	1,330	1,880	2,880	0,600
9	VD9	0,000	0,010	0,010	0,010	0,020	0,040	0,200	0,480	0,710	1,050	1,450	0,960	0,320

* $\alpha_k = \alpha_{k-1} + \Delta\alpha$; $k \in [1; 13]$; $\alpha_0 = -30^\circ$; $\Delta\alpha = 5^\circ$.

Значение коэффициентов математических моделей в контрольных точках углового перемещения для $L1, L2, L3$ представлены в таблице 3.

Оптимизация по полученным математическим моделям осуществляется с помощью надстройки «Поиск решений» программы для работы с электронными таблицами Excel 2010, входящей в состав пакета Microsoft Office [4]. Эта надстройка использует метод сопряженных градиентов для нахождения экстремума (минимума или максимума) нелинейной функции [5].

Таблица 3

Коэффициенты математической модели в контрольных точках углового перемещения
для $L1, L2, L3$

L1											
α_k	β_0	β_1	β_2	β_{12}	β_{11}	β_{22}	$Ufd_{max}(\alpha_k), B$	$X1_{max}$	$X2_{max}$	$X_{max, MM}$	$Y_{max, MM}$
-30°	0,118	-0,04	0,17	-0,052	-0,087	0,133	0,446	-0,534	1	-16,02	70
-25°	0,187	-0,072	0,297	-0,093	-0,155	0,240	0,767	-0,530	1	-15,9	70
-20°	0,223	-0,120	0,388	-0,165	-0,140	0,285	1,042	-1	1	-30	70
-15°	0,733	-0,140	0,538	-0,198	-0,470	0,145	1,477	-0,359	1	-10,77	70
-10°	1,686	-0,192	0,498	-0,203	-0,458	-0,848	1,794	-0,281	0,327	-8,43	22,89
-5°	2,852	-0,257	0,325	-0,080	-0,593	-2,098	2,894	-0,222	0,082	-6,66	5,74
0°	4,096	-0,348	0,020	-0,008	-0,368	-3,793	4,178	-0,473	0,003	-14,19	0,21
5°	3,669	-0,180	-0,022	0,002	-0,733	-3,128	3,680	-0,123	-0,004	-3,69	-0,28
10°	2,764	-0,018	-0,040	0,002	-1,412	-1,757	2,765	-0,01	-0,01	-0,3	-0,7
15°	0,593	0,002	-0,185	0,000	-0,405	-0,125	0,662	0,002	-0,740	0,06	-51,8
20°	0,688	0,002	-0,510	-0,002	-0,842	0,383	1,581	0,002	-1	0,06	-70
25°	1,019	0,000	-0,867	0,000	-1,483	0,837	2,722	0	-1	0	-70
30°	1,013	0,007	-0,875	-0,010	-1,520	0,875	2,763	0,005	-1	0,15	-70
L2											
α_k	β_0	β_1	β_2	β_{12}	β_{11}	β_{22}	$Ufd_{max}(\alpha_k), B$	$X1_{max}$	$X2_{max}$	$X_{max, MM}$	$Y_{max, MM}$
-30°	0,081	-0,012	0,078	-0,007	-0,052	0,048	0,210	-0,185	1	-5,55	70
-25°	0,121	-0,032	0,190	-0,040	-0,092	0,153	0,478	-0,391	1	-11,73	70
-20°	0,184	-0,060	0,277	-0,077	-0,127	0,203	0,702	-0,543	1	-16,29	70
-15°	0,526	-0,052	0,362	-0,098	-0,278	0,052	0,959	-0,268	1	-8,04	70
-10°	1,204	-0,093	0,413	-0,108	-0,317	-0,547	1,297	-0,215	0,399	-6,45	27,93
-5°	1,914	-0,202	0,422	-0,148	-0,342	-1,222	1,989	-0,337	0,193	-10,11	13,51
0°	2,670	-0,207	0,132	-0,013	-0,270	-2,295	2,712	-0,383	0,030	-11,49	2,1
5°	3,146	-0,167	-0,087	-0,008	-0,323	-2,793	3,168	-0,258	-0,015	-7,74	-1,05
10°	2,728	-0,020	-0,267	0,030	-1,047	-1,737	2,738	-0,011	-0,077	-0,33	-5,39
15°	0,451	-0,097	-0,573	0,145	-0,187	0,263	1,366	-0,647	-1	-19,41	-70
20°	0,524	-0,125	-1,065	0,198	-0,582	0,938	2,572	-0,277	-1	-8,31	-70
25°	0,994	-0,020	-0,958	0,033	-1,387	0,888	2,842	-0,019	-1	-0,57	-70
30°	0,564	-0,033	-0,613	0,050	-0,817	0,593	1,773	-0,051	-1	-1,53	-70
L3											
α_k	β_0	β_1	β_2	β_{12}	β_{11}	β_{22}	$Ufd_{max}(\alpha_k), B$	$X1_{max}$	$X2_{max}$	$X_{max, MM}$	$Y_{max, MM}$
-30°	0,011	-0,007	0,018	-0,002	0,003	0,008	0,050	-1	1	-30	70
-25°	0,028	-0,023	0,142	-0,028	-0,007	0,128	0,342	-1	1	-30	70
-20°	0,052	-0,048	0,228	-0,063	-0,008	0,192	0,575	-1	1	-30	70
-15°	0,323	-0,067	0,260	-0,065	-0,040	-0,020	0,655	-1	1	-30	70
-10°	0,648	-0,100	0,353	-0,092	-0,067	-0,227	0,900	-1	0,983	-30	68,81
-5°	0,937	-0,143	0,342	-0,090	-0,050	-0,515	1,120	-1	0,419	-30	29,33
0°	1,369	-0,197	0,193	-0,058	-0,183	-0,773	1,438	-0,559	0,146	-16,77	10,22
5°	1,526	-0,190	-0,262	0,085	-0,023	-1,148	1,718	-1	-0,151	-30	-10,57
10°	1,541	-0,272	-0,467	0,195	-0,122	-0,947	1,807	-1	-0,349	-30	-24,43
15°	0,433	-0,228	-0,775	0,313	-0,075	0,405	2,079	-1	-1	-30	-70
20°	0,051	-0,273	-1,060	0,398	0,093	0,953	2,829	-1	-1	-30	-70
25°	0,351	-0,227	-1,018	0,335	-0,437	0,968	2,518	-0,643	-1	-19,29	-70
30°	0,078	-0,032	-0,235	0,043	-0,072	0,208	0,540	-0,517	-1	-15,51	-70

Поскольку измерения в каждой контрольной точке были проведены один раз, то для доказательства адекватности полученных математических моделей, необходимо произвести дополнительные измерения. Координатная сетка экспериментальной установки позволяет устанавливать фотоприемники с шагом 2,5 мм. Это означает, что при реализации дополнительного эксперимента не удастся произвести измерения в точках с координатами найденного максимума. Таким образом, с целью учета ограничивающих условий следует

взять точки с координатами близкими к области максимума и кратными значению шага координатной сетки. Результаты реализации эксперимента представлены в таблице 4. Допустимую инженерную погрешность измерений примем равной $\pm 10\%$.

Таблица 4

Проверка адекватности синтезированных математических моделей в контрольных точках углового перемещения для $L1, L2, L3$

L1								
α_k	$X_{max,MM}$	$Y_{max,MM}$	$X_{exp,MM}$	$Y_{exp,MM}$	Ufd_{theor}	Ufd_{exp}	$\epsilon, \%$	Проверка адекватн.
-30°	-16,02	70	-15	70	0,446	0,49	-9,87	модель адекватна
-25°	-15,9	70	-15	70	0,767	0,83	-8,21	модель адекватна
-20°	-30	70	-30	70	1,042	0,99	4,99	модель адекватна
-15°	-10,77	70	-10	70	1,477	1,62	-9,68	модель адекватна
-10°	-8,43	22,89	-7,5	22,5	1,794	3,1	-72,80	неадекватна
-5°	-6,66	5,74	-7,5	5	2,893	4,3	-48,63	неадекватна
0°	-14,19	0,21	-15	0	4,178	4,63	-10,82	модель адекватна
5°	-3,69	-0,28	-2,5	0	3,679	4,69	-27,48	неадекватна
10°	-0,3	-0,7	0	0	2,764	4,65	-68,23	неадекватна
15°	0,06	-51,8	0	-70	0,653	0,84	-28,64	неадекватна
20°	0,06	-70	0	-70	1,581	2,67	-68,88	неадекватна
25°	0	-70	0	-70	2,722	4,7	-72,67	неадекватна
30°	0,15	-70	0	-70	2,763	4,79	-73,36	неадекватна
L2								
α_k	$X_{max,MM}$	$Y_{max,MM}$	$X_{exp,MM}$	$Y_{exp,MM}$	Ufd_{theor}	Ufd_{exp}	$\epsilon, \%$	Проверка адекватн.
-30°	-5,55	70	-5	70	0,210	0,22	-4,76	модель адекватна
-25°	-11,73	70	-10	70	0,478	0,49	-2,51	модель адекватна
-20°	-16,29	70	-15	70	0,702	0,69	1,71	модель адекватна
-15°	-8,04	70	-10	70	0,959	0,87	9,28	модель адекватна
-10°	-6,45	27,93	-7,5	27,5	1,297	1,32	-1,77	модель адекватна
-5°	-10,11	13,51	-10	15	1,989	2,14	-7,59	модель адекватна
0°	-11,49	2,1	-12,5	2,5	2,711	2,76	-1,81	модель адекватна
5°	-7,74	-1,05	-7,5	0	3,167	3,45	-8,94	модель адекватна
10°	-0,33	-5,39	0	-5	2,738	4,23	-54,49	неадекватна
15°	-19,41	-70	-20	-70	1,366	1,45	-6,15	модель адекватна
20°	-8,31	-70	-7,5	-70	2,572	2,46	4,35	модель адекватна
25°	-0,57	-70	0	-70	2,842	4,68	-64,67	неадекватна
30°	-1,53	-70	-2,5	-70	1,772	1,89	-6,66	модель адекватна
L3								
α_k	$X_{max,MM}$	$Y_{max,MM}$	$X_{exp,MM}$	$Y_{exp,MM}$	$Ufd_{теор.}$	$Ufd_{эксп.}$	$\epsilon, \%$	Проверка адекватн.
-30°	-30	70	-30	70	0,050	0,05	0,0	модель адекватна
-25°	-30	70	-30	70	0,342	0,34	0,6	модель адекватна
-20°	-30	70	-30	70	0,575	0,58	-0,9	модель адекватна
-15°	-30	70	-30	70	0,655	0,65	0,8	модель адекватна
-10°	-30	68,81	-30	70	0,900	0,85	5,6	модель адекватна
-5°	-30	29,33	-30	30	1,120	1,02	8,9	модель адекватна
0°	-16,77	10,22	-17,5	10	1,438	1,32	8,2	модель адекватна
5°	-30	-10,57	-30	-10	1,718	1,63	5,1	модель адекватна
10°	-30	-24,43	-30	-25	1,807	1,78	1,5	модель адекватна
15°	-30	-70	-30	-70	2,08	2,3	-10,6	модель адекватна
20°	-30	-70	-30	-70	2,830	3,05	-7,8	модель адекватна
25°	-19,29	-70	-20	-70	2,518	1,23	51,2	неадекватна
30°	-15,51	-70	-15	-70	0,540	0,3	44,4	неадекватна

На рис. 4 графически представлены значения $U_{max}(\alpha_k)$ найденные по математическим моделям для $L1, L2, L3$.

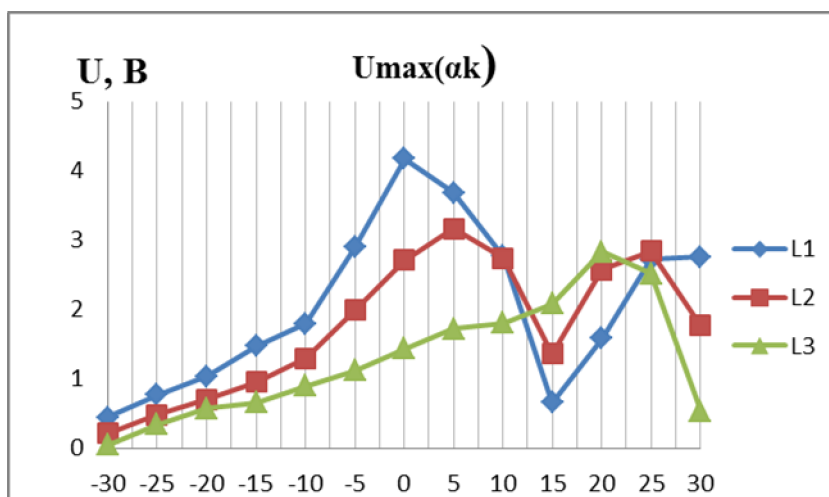


Рис. 4. Графическое представление значений напряжения для L1, L2, L3

Анализ полученных результатов. В таблице 5 представлен сравнительный анализ основных показателей для L1, L2, L3.

Таблица 5

Сравнительный анализ основных показателей для L1, L2, L3

№ п/п	Расстояние между ИИ и ФП, мм	Чувствительность, В/град.		Диапазон рабочей чувствительности в прямом (обратном) направлении*, град	Количество ФП**, шт.
		Мин.	Средн.		
1	110	0,055	0,124	30 (15)	6 (4)
2	150	0,045	0,085	35 (10)	8 (3)
3	220	0,016	0,056	50 (10)	6 (3)

* - прямым направлением движения источника излучения считается направление по часовой стрелке от нулевого положения, обратным – в противоположную сторону;

** - количество фотоприемников определяется с учетом геометрических размеров используемых фототранзисторов.

Количество ФП может быть уменьшено за счет введения устройства управления (УУ), которое будет перемещать один ФП согласно полученным координатам по одной из осей при условии, что вторая координата остается неизменной (табл.6):

Таблица 6

Количество используемых ФП с применением УУ

№ п/п	Расстояние между ИИ и ФП, мм	Кол-во ФП с учетом УУ, шт.	Кол-во перемещаемых ФП
1	110	4	1 ФП по оси X
2	150	5	1 ФП по оси X
3	220	2	1 ФП по оси Y

Научно практические выводы по проделанной работе:

- усовершенствован метод контроля отработки углового перемещения рулевой поверхностью самолета с применением перемещающегося фотоприемника;
- общие преимущества: простота конструктивного исполнения, дешевизна компонентов, входящих в его состав, возможность производить измерения, не вмешиваясь в конструкцию исследуемого объекта, сопряжение с системами автоматического измерения и контроля;

- найдені параметри устро́йства, з використанням метода, позволяючі підви́сити його чутливість, упростити конструкцію за рахунок зменшення кількості використовуваних фотодетекторів;
- найдені параметри устро́йства, позволяючі розширити діапазон його вимірювання.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кошевой Н. Д. Фотоэлектрический преобразователь для измерения угла поворота рулевой поверхности самолета / Н. Д. Кошевой, О. Л. Бурлеев // Интегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2013). Шоста міжнар. наук.-практ. конф., 27-29 травня 2013 р., Київ. – К.: НАУ, 2013. – С. 77-78.
2. Электронный ресурс: <http://masteram.com.ua/ru/Mastech-MS8200G-Digital-Multimeter.php>.
3. Володарский Е.Т. Планирование и организация измерительного эксперимента / Е. Т. Володарский, Б. Н. Малиновский, Ю. М. Туз. – К.: Вища школа, 1987. – 280с.
4. Уокенбах Дж. Формулы в Microsoft Excel 2010: пер. с англ. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2011. – 704 с.
5. Гилл Ф. Практическая оптимизация: пер. с англ. / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт. – М.: Мир, 1985. – 509с.

Рецензент: д.т.н., проф. Угрюмов М.Л.

д.т.н., проф. Кошевой Н.Д., Бурлесв О.Л.

ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОМЕТРИЧНОГО РОЗТАШУВАННЯ ФОТОПРИЙМАЧІВ ПРИ КОНТРОЛІ КУТОВОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ КЕРМОВИХ ПОВЕРХОНЬ ЛІТАКА

Здійснена оптимізація геометричного розташування фотодетекторів за допомогою напівнатурного моделювання на лабораторній установці. Вдосконалено метод контролю кутового переміщення рульової поверхні літака. Знайдені оптимальні параметри геометричного розташування фотодетекторів, які дозволяють розширити діапазон вимірювання, підвищити чутливість та спростити конструкцію вимірювального пристрою.

Ключові слова: кутове переміщення, чутливість, оптимізація, автоматизація, фотодетектор, напівнатурне моделювання.

Prof. Koshevoy N.D., Burleev O.L.

OPTIMIZATION OF THE GEOMETRICAL ARRANGEMENT OF PHOTODETECTOR CONTROL ANGULAR MOVEMENT OF THE CONTROL SURFACES AIRCRAFT

Optimization of the geometrical arrangement of photodetectors with is realized using HIL. The method of controlling the angular displacement of the aircraft steering surfaces is improved. The optimal parameters of the geometric arrangement of photodetectors, allowing to extend the range of measurement, to increase the sensitivity and to simplify the design of the measuring device is found.

Keywords: angular displacement, sensitivity, optimization, automation, photodetector, HIL.