

СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ "КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ"

ФАКУЛТЕТ ПО МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

ДИМИТЪР ИВАНОВ УТЕВ

МЕТОДИ И СРЕДСТВА ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ЛИНЕЙНИ
ПРЕМЕСТВАНИЯ И ВЪРТЯЩИ МОМЕНТИ ОТ СИЛИ

ДИ С Е Р Т А Ц И Я

за получаване на научната степен

"Кандидат на техническите науки"

Научен консултант

ст.н.с., к.т.н., инж. Паруш Р. Парушев

С о ф и я, 1989 г.

ПРЕДГОВОР

Интензивното развитие на съвременното производство и научни изследвания се характеризират преди всичко с комплексна механизация и автоматизация, които заемат важно място в цялостната научно-техническа и икономическа политика на всяка една страна. Тук едновременно с повишаване производителността на труда се цели подобряване качеството на готовата продукция, ускорено обновяване на изделията със съответно увеличаване конкурентноспособността в международното разделение на труда. Съществена характеристика на този процес е постигнатото ниво на метрологично осигуряване и перспективите за неговото развитие, които в значителна степен предопределят успеха на всяко едно начинание, свързано с решаване на възлови задачи, поставени пред съвременното производство, и е сериозен икономически фактор, определящ неговата ефективност.

Големите изисквания към метрологията от страна на производството и научните изследвания са свързани с повишаване точността, надеждността и обхвата на използваните измервателни устройства. Нерядко се поставят и допълнителни условия за гарантиране на посочените параметри при наличие на дестабилизиращи фактори (изменение на температура, вибрации и др.), характерни за условията на съвременното производство и преди всичко на машиностроенето, един от водещите отрасли на народ-

ното стопанство. Задачите, които се решават в това направление са много и разнообразни, като значителна част от проблемите са свързани с измерване на механични (линейни и ъглови)* премествания, сили, маса и въртящи моменти от сили, които са широко разпространени както в машиностроенето, така и в останалите клонове на научните изследвания и производството.

И тук, основните усилия се насочват към автоматизация на измервателните процеси, широко внедряване на активния контрол в производството, повишаване качеството, надеждността и производителността на използваните устройства.

Настоящата дисертационна работа обхваща въпросите, свързани с подобряване на метрологичните и експлоатационни параметри на измервателни устройства за механични (линейни) премествания, сили (маса)** и въртящи моменти от сили, като се разглеждат методи и средства за гарантиране и повишаване на тяхната точност, надеждност, измервателен обхват и ефективност през отделните етапи на разработка, внедряване и експлоатация. Изследванията се отнасят както за намиращи се в експлоатация, така и за новоразработвани високоточни образцови и еталонни средства за измерване. Част от теоретично получените резултати са експериментално проверени чрез създадени конкретно за целта на изследванията уникални лабораторни модели и измервателни устройства, предназначени за удовлетворяване на определени метрологични потребности на страната, които са изградени в системата на Комитета по качеството към Министерския съвет.

* По-нататък в текста, ако не се налага специално да се оговаря, ще се използва общия термин "механични премествания".

** Измерването на сили се разглежда само дотолкова, доколкото се прилагат разработените измервателни устройства за линейни премествания.

✱

✱

✱

Считам за свой приятен дълг да изразя най-дълбоката си благодарност към моя научен консултант ст.н.с. П.Парушев за неговата всеотдайна научна и методическа помощ, както и за непрекъснатото внимание и морална подкрепа, оказвани при подготовката на настоящата работа.

Искрено желая да благодаря за оказаната безкористна помощ и съдействие на ст.н.с. М.Миховски, на доц.П.Бързаков и на сътрудниците от сектор УУМС при ЕЦММ-БАН с ръководител проф.А.Анчев и особено на проф.К.Минков, ст.н.с. В.Абаджиев, проф.Л.Лилев и н.с.Л.Ангелова.

Използвам случая да изкажа своята благодарност и на ръководството на Националния метрологичен център - София в лицето на инж.П.Златарев, инж.Илия Захариев, В.Върбанов и инж.Г.Балъзов, както и на ръководството на Център по качеството - Плевен в лицето на инж.В.Комаревски и на инж.Вл.Христов.

Благодаря също на всички мои колеги, които със своята помощ, доброжелателност, всяческо съдействие и съпричастност към възникналите проблеми, спомогнаха много за изпълнение на работата и успешно внедряване на получените резултати.

В заключение, с искрена признателност благодаря на моето семейство, което с всеотдайност и разбиране търпеливо понесе намаляването на полагащото се внимание към него от моя страна и със своята подкрепа значително допринесе за успешния завършек на този труд.

С Ъ Д Ъ Р Ж А Н И Е

стр.

ПРЕДГОВОР	I
СЪДЪРЖАНИЕ	IV
ИЗПОЛЗУВАНИ ОЗНАЧЕНИЯ И СЪКРАЩЕНИЯ.	VI
I. Основни означения и съкращения	VI
II. Допълнителни означения и съкращения	XIII
УВОД.	2
ГЛАВА 1. Обзор на методите и средствата за измерване на механични премествания, сили и въртящи моменти от сили	5
1.1. Класификация на средствата за измерване	5
1.2. Схеми за преобразуване на измервателния сигнал.	15
1.3. Задачи на дисертацията.	30
ГЛАВА 2. Синтез на високоточни измервателни преобра- зуватели.	32
2.1. Метод за допълнително формиране на измер- вателния сигнал	33
2.2. Класификационно определение на метода	54
2.3. Функционална унификация на преобразуватели и средства за измерване на механични вели- чини.	56
2.3.1. Схема за функционална унификация на сред- ства за измерване на механични величини	57
2.3.2. Унификация на метрологичното осигуряване на средствата за измерване.	65
2.4. Изводи.	71

ГЛАВА 3. Устройства за измерване на линейни премест-	
вания и сили	73
3.1. Структурен анализ.	74
3.2. Точностен анализ	84
3.3. Метрологично осигуряване и експериментални	
резултати.	106
3.4. Изводи	125
ГЛАВА 4. Устройства за статично формиране и измерване	
на въртящ момент от сила	127
4.1. Основни етапи на предварителен анализ.	128
4.1.1. Обобщена блокова схема на устройството	
(първо ниво)	128
4.1.2. Основни елементи на устройството за фор-	
миране на въртящ момент от сила (второ ниво)	135
4.1.3. Основни функционални групи (трето ниво).	150
4.1.4. Основни функционални механизми (четвърто	
ниво).	152
4.1.5. Основни функционални възли (пето ниво)	153
4.1.6. Основни детайли на функционалните възли.	154
4.2. Конструктивна реализация	154
4.3. Метрологично осигуряване и експериментални	
изследвания.	161
4.4. Експериментални данни.	168
4.5. Изводи	185
ЗАКЛЮЧЕНИЕ (авторска справка)	188
ПУБЛИКАЦИИ, НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЯВАНИЯ.	192
ЛИТЕРАТУРА.	198
ПРИЛОЖЕНИЯ ЗА ВНЕДРЯВАНЕ.	211

ИЗПОЛЗВАНИ ОЗНАЧЕНИЯ И СЪКРАЩЕНИЯ

I. Основни означения и съкращения

1. Приети означения и съкращения на физични величини

$C^{(k)}$ – стойност на скално деление на СИ₁ ($k=1$ за измерване на механично преместване и $k=2$ при измерване на сили);

$C_D^{(k)} (C_{hD}^{(k)})$ – стойност на скално деление на СИ₁ при допълнително въздействие $X_D^{(k)} (X_{hD}^{(k)})$ върху ПМП ($h = 1, \dots, n$); ($k=1$ за измерване на механично преместване и $k=2$ за сили);

$D^{(k)}$ – диапазон от стойности на X регистрирани от СИ₁ (измервателен обхват на СИ₁); ($k=1$ за измерване на механични премествания и $k=2$ за сили);

$D_D^{(k)}, D_{hD}^{(k)}, D_{Dg}^{(k)}$ – диапазон на стойности на $X_D^{(k)}, X_{hD}^{(k)}, X_{hDg}^{(k)}$, регистрирани от СИ₁, където $k=1$ за измерване на механични премествания и $k=2$ за измерване на сили, $g = (1, \dots, f)$ – характерни точки от ПМП, в които се прилага $X_{Dg}^{(k)}$;

$D_\Sigma^{(k)} (D_{h\Sigma}^{(k)})$ – измервателен обхват на СИ₁ при едновременното действие на $X^{(k)}$ и $X_D^{(k)} (X_{hDg}^{(k)})$;

$d^{(k)} (d_\Sigma^{(k)})$ – измервателен обхват на СИ или крайното отчетно звено на СИ₁ в механично преместване или деформация на ПМП под действие на $X^{(k)} (X^{(k)} + X_D^{(k)})$;

$d_{\Sigma 2}^{(k)} (d_{\Sigma 1}^{(k)})$ – горна (долна) граница на измервателните обхвати на СИ или крайното отчетно звено на СИ₁ под действие на $X^{(k)}$ след корекция на метрологичните характеристики на тези измервателни устройства ($d_{\Sigma 1}^{(k)} < d < d_{\Sigma 2}^{(k)}$);

f – брой характерни точки на ПМП, в които се прилага $X_{Dg}^{(k)}$ или $X_{hDg}^{(k)}$;

g – 1) стойност на собствена маса на детайли и възли в СИ₁, УЩК, КЕРФЕ; 2) – модул на приплъзване на материала на ДУМЛ.

$g = 1, 2, \dots, f$ – пореден номер на точките в които се прилага допълнително въздействие;

$h = 1, 2, \dots, N$ - пореден номер на прилаганото единично допълнително въздействие $X_{hдg}$ в определена точка "g" от ПМП;

$i_{дg}^{(k)}$ - характеристика на прилаганото единично допълнително въздействие $X_{hдg}^{(k)}$ върху ПМП;

i - предавателна функция на ПМП на СИ₁ под действие на X ;

$i^{(k)}$ - предавателна функция на ПМП под действие на $X^{(k)}$

при измерване на механични премествания ($k=1$) и сили (маса) - ($k=2$);

$i_{д}^{(k)}$ - предавателна функция на ПМП под действие на $X_{д}^{(k)}$

при същите значения на "k";

i_{o} - предавателно отношение на отчитащото звено на СИ₁ или УИМП (УИД) под действие на X ;

$i_{o}^{(k)}$ - предавателно отношение на отчитащото звено на СИ₁ или УИМП (УИД) при измерване на механични премествания ($k=1$) и сили (маса) - ($k=2$);

$i_{hд}$ - предавателно отношение на ПМП на СИ₁ под действие на $X_{hд}$;

$i_{hдg}^{(k)}$ - предавателно отношение на ПМП на СИ₁ под действие на $X_{д}^{(k)}$ при измерване на механични премествания ($k=1$) и сили (маса) - ($k=2$); $h=1, \dots, N$; $g=1, \dots, f$;

j - индекс, означаващ рамо 1 ($j=1$) и рамо 2 ($j=2$) на двураменен лост или радиус 1 ($j=1$) и радиус 2 ($j=2$) на ОРФЕ-2 (диск), при формиране на въртящ момент с условно лява (при $j=1$) и условно дясна (при $j=2$) посока на въртене;

$K_{д}^{(k)}$ - коефициент, характеризиращ деформационните параметри на ЕДПМП при измерване на механичните премествания ($k=1$) и сили (маса) - ($k=2$);

$K_{M1}^{(k)} (K_{M2}^{(k)})$ - мащабен коефициент при преобразуване на $X^{(k)}$ ($X_{д}^{(k)}$) чрез ПМП при същото значение на "k";

k - индекс, означаващ вида на измерваната величина при измерване на механични премествания ($k=1$) и сили (маса) - ($k=2$);

l - дължина на рамо на РФЕ;

$l_j^{(p)} (l_{oj}^{(p)}, l_{ej}^{(p)})$ - дължина на рамо 1 ($j=1$) или рамо 2 ($j=2$) на РФЕ (ОРФЕ-2; ЕРФЕ-2) във вид на двураменен лост, атестирано с по-висока ($p=1$) или по-ниска ($p=2$) точност;

$n^{(k)}$ - брой скални деления на СИ, или крайното отчетно звено на СИ₁;

$n_D^{(k)}$ - брой скални деления на СИ или крайното отчетно звено на СИ₁, необходими за отчитане стойността на $X^{(k)}$ след едновременно прилагане на $X^{(k)}$ и $X_D^{(k)}$ върху ПМП;

M - маса на теглилка;

$M_p (M_o, M_e)$ - маса на работна (образцова, еталонна) теглилка;

$M_{oj}^{(p)} (M_{ej})$ - маса на образцова (еталонна) теглилка, поставяна върху рамо 1 ($j=1$) и рамо 2 ($j=2$) към РФЕ във вид на двураменен лост или окачвана посредством еластична връзка към периферията на ОРФЕ-2 във вид на диск с радиус $r_{до}$, атестирана с по-висока ($p=1$) или по-ниска ($p=2$) точност;

$M_{вт}$ - въртящ момент от сила;

$M_{вт\,pj}^{(p)} (M_{вт\,oj}^{(p)}, M_{вт\,ej}^{(p)})$ - работен (образцов, еталонен) въртящ момент от сила, формиран чрез динамометричен ключ, (окачване на теглилка M_{oj} или M_{ej} в края на рамо 1 ($j=1$) и рамо 2 ($j=2$) на ОРФЕ или ЕРФЕ във вид на двураменен лост);

$M_{вт\,eq}^{(p)}$ - въртящ момент от сила, формиран чрез прилагане на двоица сили P_{eq} към ЕРФЕ-2 с радиус $r_{де}$ с условно лява ($q=1$) и условно дясна ($q=2$) посока на въртене, формиран с по-висока ($p=1$) или по-ниска ($p=2$) точност;

$M_{BTj}^{(p)}$ - въртящ момент от сила, формиран с по-висока ($p=1$) или по-ниска ($p=2$) точност, чрез прилагане на сила $P_j^{(p)}$ към рамо $1_j^{(p)}$;

$M_{BTjнес}^{(p)}$ - допълнителен въртящ момент от сили, възникващ при формиране на $M_{BT}^{(p)}$ от наличие на ексцентрицитет "е" и ъгъл на пресичане " δ " между осите на два съединени РФЕ;

$M_{Trj}^{(p)}$ - момент на триене в лагерна опора на РФЕ с по-висока ($p=1$) или по-ниска ($p=2$) точност, с условно лява ($j=1$) или дясна ($j=2$) посока на въртене;

$M_{Tr_o}^{(p)} (M_{Tr_e}^{(p)})$ - момент на триене в лагерна опора на ОРФЕ (ЕРФЕ);

$M_{Tr, пост} (M_{Tr, пром})$ - постоянна (променлива) съставка на M_{Tr} ;

$M_{Trjнес}^{(p)}$ - допълнителен момент на триене в лагерни опори на РФЕ при формиране на $M_{BTj}^{(p)}$ от наличие на ексцентрицитет "е" и ъгъл на пресичане " δ " между осите на два съединени РФЕ;

n - брой преобразователни звена на СИ₁ (без крайното отчитащо звено или УИМП, УИД);

$n^{(k)}$ - количество наблюдения (експериментално отчетени стойности на $X^{(k)}$;

n_{BT} - количество наблюдения (експериментално отчетени стойности на $M_{BT_o}^{(p)}$ при атестация на УПДК);

n - брой единични допълнителни въздействия върху ПМП;

o - индекс на крайното отчитащо звено на СИ₁ или СИ;

p - индекс, означаващ степента на точност на физическата величина ($p=1$ при по-висока и $p=2$ при по-ниска точност);

$P_j^{(p)}$ - сила, прилагана към рамо 1 ($j=1$) или рамо 2 ($j=2$) на РФЕ във вид на двураменен лост или към периферията на диск (ОРФЕ-2) с радиус 1 ($j=1$) или радиус 2 ($j=2$), атестирана с по-висока ($p=1$) или по-ниска ($p=2$) точност;

$P_{oj}^{(p)}(P_{\bullet j})$ - образцова (еталонна) сила, прилагана към рамо 1 ($j=1$) или рамо 2 ($j=2$) на ОРФЕ (ЕРФЕ-1), формирана $P_{oj}^{(p)}$ ($P_{\bullet j}^{(p)}$) (с по-висока ($p=1$) или с по-ниска ($p=2$) точност;

$P_{\bullet q}$ - двойца еталонни сили, приложена към периферията на диск (ЕРФЕ-2) с условно лява ($q=1$) или дясна ($q=2$) посока на въртене;

$P_{\bullet q-z}^{(p)}$ - сила 1 ($z=1$) и сила 2 ($z=2$), формиращи двойца еталонни сили с условно лява ($q=1$) и условно дясна ($q=2$) посока на въртене, приложена към периферията на ЕРФЕ-2(диск); формирана с по-висока ($p=1$) или по-ниска ($p=2$) точност;

q - индекс на двойца сили с условно лява ($q=1$) и условно дясна ($q=2$) посока на въртене;

n - общ брой на основните грешки в z -то звено на СИ₁ ($z=1, 2, \dots, n$);

$u^{(2)}$ - основна преобразуваща характеристика на ПМП под действие на $X^{(2)}$;

$u_{hд}^{(2)}$ - резултантна преобразуваща характеристика на ПМП след прилагане на X и $X_{hд}$ ($h=1, 2, \dots, N$);

u - общ брой единични грешки $\Delta_u^{(s)}$, съставлящи основната грешка $\Delta^{(s)}$ на z -то звено на СИ₁ ($z=1, \dots, n$);

w - брой на грешките $\Delta_u^{(s)}(w)$, съставлящи единичната грешка $\Delta_u^{(s)}$;

X - измервана физична величина;

$X^{(k)}$ - измервана физична величина механично преместване ($k=1$) или сила (маса) - ($k=2$);

$X_{дg}$ - допълнително прилагана физична величина в характерни точки "g" ($g=1, \dots, f$) на ПМП;

$X_{дg}^{(k)}$ - допълнително единично въздействие върху ПМП ($g=1, \dots, f$) при измерване на механично преместване ($k=1$) и сила ($k=2$);

$X_{hдг}^{(k)}$ - допълнително прилагана единична физична величина h ($h=1, \dots, N$) при измерване на механично преместване ($k=1$) или сила (маса) - ($k=2$), приложена в точки "г" от ПМП ($г=1, \dots, f$);

y - изходен сигнал на ПМП след преобразуване на X ;

$\bar{y}$ - същото при друг мащабен коефициент K_d ;

$y^{(k)}$ - същото, като $k=1$ при измерване на механични премествания и $k=2$ при измерване на сили (маса);

$\bar{y}^{(k)}$ - същото при друг мащабен коефициент;

y_d - изходен сигнал на ПМП след прилагане на X_d ;

$\bar{y}_d$ - същото при друг мащабен коефициент;

$y_d^{(k)}$ - същото, като $k=1$ при измерване на механични премествания и $k=2$ при измерване на сили (маса);

$\bar{y}_d^{(k)}$ - същото при друг мащабен коефициент;

$y_{hдг}^{(k)}$ - изходен сигнал на ПМП след прилагане на $X_{hдг}^{(k)}$ в негови характерни точки "г" ($г=1, \dots, f$);

$\bar{y}_{hдг}$ - същото при друг мащабен коефициент;

y_o - отчетена стойност на y ;

$\bar{y}_o$ - същото при друг мащабен коефициент;

$y_o^{(k)}$ - отчетена стойност на $y^{(k)}$;

$\bar{y}_o^{(k)}$ - същото при друг мащабен коефициент;

$y_{од}^{(k)}$ - отчетена стойност на $y_d^{(k)}$;

$\delta(\bar{\delta})$ - относителни грешки на СИ₁;

$\delta_o^{(k)}(\bar{\delta}_{од}^{(k)})$ - относителна грешка на СИ (верига за допълн. въздействие) ;

$\Delta \bar{y}_o^{(k)}$ - обща грешка на СИ₁;

$\Delta^{(z)}$ - основна грешка в z -то преобразователно звено на СИ₁ ($z=1, \dots, n$);

$\Delta_u^{(s)}$ - единична грешка, влизаща в състава на основната грешка $\Delta^{(s)}$ в z -то преобразователно звено на СИ₁ ($z=1, \dots, n$);

$\Delta_u^{(s)}(w)$ - грешка, влизаща в състава на единичната грешка $\Delta_u^{(s)}$;

$\Delta_i^{(k)}(\Delta^{(s)}_i^{(k)}, \Delta^{(s)}_u^{(k)})$ - обща (основна, единична) грешка на $i^{(k)}$;

$\Delta_{i_0}^{(k)}(\Delta^{(s)}_{i_0}^{(k)}, \Delta^{(s)}_{u_0}^{(k)})$ - обща (основна, единична) грешка на $i_0^{(k)}$;

$\Delta X, \Delta Y, \Delta X_d, \Delta Y_d, \Delta X_{hd}, \Delta Y_{hd}$ и т.н. - грешки на означените физични величини;

$\Delta_{двт}^M$ - допълнителна грешка на $M_{вт}$, възникваща при наличие на ексцентрицитет "е", пресичане или кръстосване под ъгъл δ между осите на два съединени РФЕ;

$\xi_j^{(p)}(\xi_{ej}^{(p)})$ - ъгъл между рамо 1 ($j=1$) и рамо 2 ($j=2$) на РФЕ (ЕРФЕ), определен с по-висока ($p=1$) и по-ниска ($p=2$) точност;

$\xi_{e1}^{(p)}(\xi_{e2}^{(p)})$ - ъгъл между $P_{e1}^{(p)}(P_{e2}^{(p)})$ и оста на въртене на ЕРФЕ-2, определен с по-висока ($p=1$) и по-ниска ($p=2$) точност;

$\varphi_j^{(p)}(\varphi_0, \varphi_e)$ - ъгъл между рамо 1 ($j=1$) и рамо 2 ($j=2$) на РФЕ (ОРФЕ, ЕРФЕ) спрямо тяхното оптимално хоризонтално положение, определен с по-голяма ($p=1$) и по-малка ($p=2$) точност;

δ - ъгъл на пресичане или кръстосване между осите на два съединени РФЕ при формиране на общ $M_{вт}$.

2. Съкращения на системи, звена и техни елементи

ВЕ - вторичен еталон;

ВПЕ - вторичен подвижен еталон;

ДУМЛ - двойноусукана металическа лентичка;

ЕДПМП - еластично-деформируем ПМП;

ЕК - еталонен комплекс;

ЕРФЕ-1 (ЕРФЕ-2) - еталонни РФЕ на ПЕ (ВЕ - диск);

ЕСФЕ-1 (ЕСФЕ-2) - еталонни СФЕ на ПЕ (ВЕ - диск);

МО - метрологично осигуряване;

КМД - крайшна мярка за дължина;

МЕ - междинен елемент;

ОРФЕ - образцов РФЕ;

ОРФЕ-1 (ОРФЕ-2) - образцов РФЕ с по-висок (по-нисък)

клас на точност;

ОСИ - образцово, образцови СИ;

ОСФЕ-1 (ОСФЕ-2) - образцов СФЕ, формиращ сили с по-висока (по-ниска) точност;

ОУ - отчетно устройство;

ПЕ - първичен еталон;

ПМП - първичен мащабен преобразувател;

ПУ - проверявано устройство;

РФЕ - рамоформиращ елемент;

РФЕ-1 (РФЕ-2) - рамоформиращ елемент с по-висок (по-нисък) клас на точност;

СЕИ - стенд за експериментални изследвания;

СИ - средство (средства) за измерване;

СФЕ - силоформиращ елемент;

СФЕ-1 (СФЕ-2) - силоформиращ елемент с по-голяма (по-малка) точност;

УИМП - устройство за измерване на механични премествания;

УИД - устройство за измерване на деформации;

УЦДК - уредба за проверка на динамометрични ключове;

УРДВ - устройство за реализиране на допълнителни въздействия;

УУ - уравновесяващо устройство.

II. Допълнителни означения и съкращения

1. Приети означения и съкращения на физични величини

a_1 , a_2 - разстояния между елементи на СЕИ, съгласно фиг.3-12, а и б;

a_3 - отклонения в приложните точки на ДУМЛ, съгласно фиг.3-21;

$a_4 \div a_9$ - разстояния между оси на елементи на СЕИ, съгласно фиг.3-22, 3-23, 3-25, 3-26, 3-27;

a_{10} - дължина на елементи на ОРФЕ-2, съгласно фиг.4-5;

b - дебелина на сечението на пръстен (ЕДПМП);

b_1 - половин дебелина на сечението на ДУМЛ;

b_2, b_3 - дължини на елементи на ОРФЕ-2, съгласно фиг.4-5;

$b_{дв,л}$ - дължина на елемент на ОРФЕ-1, съгласно фиг.4-6;

$D_{дос}$ - диапазон от стойности на X , регистрирани от СИ₁ с допълнително включена ДОС;

$D_{пр^z}$ - външен ($z=1$) и вътрешен ($z=2$) диаметър на пръстена (ЕДПМП), съгласно фиг.3-17;

$D_{ск}$ - диаметър на скалата на СЕИ;

$D_{ср}$ - среден диаметър на пръстена;

$a_{ндg}^{(k)}$ - измервателен обхват на СИ или крайното отчетно звено на СИ₁ под действие на $X_{ндg}^{(k)}$;

$a_{дос}$ - измервателен обхват на ДОС;

a_1 - половин ширина на сечението на ДУМЛ;

a_2, a_3 - диаметри на отвори в горна и долна плоча на СЕИ и влизащите в тях части от колонки (фиг.3-7, а), съгласно фиг. 3-12, б; 3-13, б; 3-15;

a_4 - диаметър на гъвкава връзка между M_0 и периферия на диск (ОРФЕ-2), съгласно фиг.4-5;

$\bar{a}_4$ - действителна стойност на a_4 , като $\bar{a}_4 = \bar{a}_4(a_4, M_{oj}^{(2)}, K_{д2})$ при формиране на $M_{вт,oj}^{(2)}$;

a_5 - дебелина на гъвкава връзка между P_e и периферията на диск (ЕРФЕ-2), съгласно фиг.4-10;

"е" - эксцентрицитет между осите на два взаимносвързани РФЕ при съвместно формиране и предаване на $M_{вт}$;

$l_{oj}^{(p)} (l_{ej}^{(p)})$ - ефективна дължина на рамо 1 ($j=1$) или рамо 2 ($j=2$) на ЕРФЕ (ОРФЕ) във вид на двураменен лост, определяна с по-висока ($p=1$) или по-ниска ($p=2$) точност;

l_1, l_2, l_3 - дължини на участъци от ПМП, съгласно фиг.3-1;

$l_4 \div l_{10}$ - дължини на елементи на СЕИ, съгласно фиг.3-11, а и б; фиг. 3-12, а и б;

$l^{(z)}$ - дължина на един усукан край на ДУМЛ след монтаж при наличие на отклонения " d_3 " ($z=1$) и " ξ " ($z=2$) във взаимното разположение на елементите на СЕИ, съгласно фиг.3-20 и 3-21;

$l_y^{(z)}(k)$ - дължини на един усукан край на ДУМЛ след нейното разтегляне на величина $0,5 Y_1$ при наличие на отклонения " d_3 " ($z=1$) и " ξ " ($z=2$) във взаимното разположение на елементите на СЕИ, съгласно фиг.3-20 и 3-21;

$l_{oj}^{(p)} (l_{ej}^{(p)})$ - дължина на рамо 1 ($j=1$) или рамо 2 ($j=2$) на ОРФЕ (ЕРФЕ) във вид на двураменен лост, атестирана с по-висока ($p=1$) и по-ниска ($p=2$) точност;

$l_{дк}$ - дължина на работното рамо на динамометричния ключ;
 $M_{втj}^{(p)} (M_{втoj}^{(p)}, M_{втеj}^{(p)})$ - въртящ момент от сила, формиран чрез поставяне на теглилка $M_j^{(p)} (M_{oj}^{(p)}, M_{ej}^{(p)})$ върху рамена $l_j^{(p)} (l_{oj}^{(p)}, l_{ej}^{(p)})$ с условно лява (при $j=1$) и условно дясна (при $j=2$) посока на въртене;

l_{II} - дължина на един усукан край на ДУМЛ;

M_{ejt} - комплект от "т" броя теглилки ($t=1, \dots, W_1$) окачвани върху рамената на ЕРФЕ-1;

$n_z^{(1)}$ - количество наблюдения (експериментално отчетени стойности) при формиране на $X_z^{(1)}$, посредством оптикатор ($z=1$) или краишни мерки за дължина ($z=2$);

$r_{e1}^{(p)} (r_{e2}^{(p)})$ - радиуси на диск (ЕРФЕ-2), към които се прилагат сили $P_{eq-1}^{(p)} (P_{eq-2}^{(p)})$ при формиране на $M_{втeq}^{(p)}$ с условно лява ($q=1$) и условно дясна ($q=2$) посока на въртене;

E_1 - модул на еластичност на материала на ДУМЛ;

E_2 - модул на еластичност на материала на ЕДПМП;

$G_{\text{шц}}$ - граница на еластичност на материала на ДУМЛ;

H - ширина на сечението на пръстен (ЕДПМП);

$h_1 \div h_{10}$ - стойности на вертикална прецесия на светлинния индекс по скалата на СЕИ при наличие на отклонения във взаимното положение на неговите елементи, съгласно фиг.3-21, 3-27;

$(h_1 \div h_{10})_{\text{мин}} (h_1 \div h_{10})_{\text{макс}}$ - минимални и максимални отклонения на светлинния индекс по скалата на СЕИ при наличие на вертикална прецесия, съгласно фиг.3-22, 3-28;

$J = H \cdot b^3 \cdot 12^{-1}$ - инерционен момент на сечението на пръстена (ЕДПМП);

$K^{(1)}(K^{(2)})$ - параметри на търкалящи лагерни опори на РФЕ₁ (РФЕ₂);

K_1, K_2 - коефициенти на верига за право преобразуване на X в схема на сравнението в равновесен режим и с автоматична компенсация;

K_{dz} - коефициент, характеризиращ деформационните параметри на гъвкавата връзка между P_q и ЕРФЕ-2 ($z=1$) и между M_0 и ОРФЕ-2 ($z=2$), изразяващ се в промяна на тяхната дебелина под действие на P_q или M_0 ;

$K_{до}^{(p)}(K_{де}^{(p)})$ - коефициент, характеризиращ съпротивителните параметри на рамената на ОРФЕ-1 (ЕРФЕ-1) във вид на двураме-нен лост;

K_e - коефициент, характеризиращ съпротивителните параметри на призмени опори към ЕРФЕ-1, в зависимост от статичното им натоварване;

$K_{M1}^{(k)}(K_{M2}^{(k)})$ - мащабен коефициент на преобразуване на $X^{(k)}(X_D^{(k)})$ чрез ПМП;

R_{oj} - радиус на диск (ОРФЕ-2), към периферията на който се окачва теглилка $M_{oj}^{(2)}$ при формиране на $M_{BT0}^{(2)}$ с условно лява ($j=1$) и условно дясна ($j=2$) посока на въртене;

$R_{ск}$ - радиус на отчетната скала на СИ₁;

$R_{ср}$ - среден радиус на пръстен (ЕДПМ на СИ₁);

" r " - брой извършвани пренастройки на ДОС след прилагане на МЗ;

$r_o - 2 (t_L)$ - параметър на ДУМЛ;

t_L - стъпка на усукване на ДУМЛ;

V_1, V_2 - коефициенти на верига за обратно преобразуване в схема на сравнението в равновесен режим и автоматична компенсация на сигнала;

w_1 - брой на теглилките, влизащи в един комплект към ЕСФЕ-1;

$Y_{кп}$ - стойност на изходния сигнал на компенсиращия преобразувател в схема на сравнение, работеща в равновесен и неравновесен режим;

$y_z(\bar{y}_z)$ - стойност на изходния сигнал на z -то звено ($z=1, \dots, n$) на СИ₁, при $K_M=1$ ($K_M \neq 1$);

$y_{оск}^{(k)}(\bar{y}_{оск}^{(k)})$ - отчетена стойност на $y^{(k)}(\bar{y}^{(k)})$ по скалата на СЕИ;

2ω - централен ъгъл на пръстена, ограничаващ дъга от него, в краищата на която са монтирани две опори (свързващи елементи към стойка), съгласно фиг.3-4;

$\omega(y)$ - ъгъл между силата P и оста Y на координатната система X, Y, Z ;

$\omega_j^{(p)}(xy), \omega_j^{(p)}(xz), \omega_j^{(p)}(yz)$ - ъгъл определен с по-голяма ($p=1$) или по-малка ($p=2$) точност между силата $P_j^{(p)}$ и нейната проекция $P_j^{(p)}(xy), P_j^{(p)}(xz), P_j^{(p)}(yz)$ върху равнина определяна от осите $xy (xz, yz)$ на координатна система XYZ , свързана с рамо 1, R_{oj} или R_{o1} ($j=1$) и с рамо 2, R_{oj} или R_{o2} ($j=2$) на РФЕ във вид на двуръменен лост или диск;

$\beta, \bar{\beta}$ - ъгли между елементи на СЕИ, съгласно фиг.3-12, а, б;

$\beta_{oj}^{(y)}$ - ъгъл между силата P_{oj} и оста Y на координатна система X, Y, Z , когато ъгъл $\alpha_{oj}^{(xy)}$ е равен на 0, съгласно фиг. 4-5;

$\beta_j^{(p)}(y)$ - ъгъл между оста Y и проекцията $P_j^{(p)}(xy)$ на силата $P_j^{(p)}$ върху равнина, определена от осите XU на координатната система X, Y, Z , свързана с РФЕ;

$\beta_{q-z}^{(p)}(z)$ - ъгъл между оста Z и проекцията $P_{q-z}^{(p)}(xz)$ на силата $P_{q-z}^{(p)}$ върху равнина XZ , определяна от координатна система X, Y, Z , свързана с РФЕ;

δ_1, δ_2 - ъглови отклонения между елементи на СЕИ, съгласно фиг.3-12, а, б;

$\delta = \delta_1 + \delta_2$ - сумарно ъглово отклонение на МП и общата осова линия на СЕИ;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ - хлабини между елементи на сглобки в СЕИ, съгласно фиг.3-12, а, б; фиг.3-13, а, б;

$\Delta\rho$ - грешка в основния ъгъл на конусното огледало на СЕИ съгласно фиг.3-24;

Δ_{dm} - грешка на X_d или на допълнителната мярка, използвана при реализиране на измервания чрез прилагане на ДОС;

Δ_{dos} - грешка на ДОС;

Δ_n - нормирана сумарна грешка на СИ;

$\Delta_{отч}$ - грешка на отчет по ДОС;

$\Delta_{прен}$ - грешка от пренастройка на ДОС;

$\Delta_{пр}$ - обща грешка от проверка на СИ при въвеждане на ДОС;

$\Delta i_c(\Delta i_{oc}, \Delta y_c)$ - систематични грешки на $i(i_o, y)$;

ζ - ъглово отклонение на изходната работна повърхнина на МП спрямо неговата осова линия, съгласно фиг.3-13, г;

η - ъглово отклонение между елементи на СЕИ, съгласно фиг.3-18;

θ - ъгъл на завъртане на средния участък на ДУМЛ под действие на $\bar{y}^{(k)}$ (разтегляне по дължина);

$\theta_{\text{пр}}$ - пределен ъгъл на завъртане на средния участък на ДУМЛ;

$\vartheta, \vartheta_1, \vartheta_2$ - ъглови отклонения между елементи на СЕИ, съгласно фиг.3-14, фиг.3-16 и фиг.3-17;

α, α_1 - ъглови отклонения между елементи на СЕИ, съгласно фиг.3-17;

λ - характеристика на относителната дебелина на сечението на ДУМЛ;

$\mu_j^{(p)}$ - параметър на лагерни опори на РФЕ с по-висока ($p=1$) и по-ниска ($p=2$) точност;

γ - параметър (коефициент на формата и сечението) на ДУМЛ;

ξ, ξ_1, ξ_2 - ъглови отклонения между елементи на СЕИ, съгласно фиг.3-20 и фиг.3-21;

ρ - основен ъгъл на конусното огледало на СЕИ, съгласно фиг.3-24;

$\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4, \psi_5$ - ъглови отклонения между елементи на СЕИ, съгласно фиг.3-22, б; фиг.3-24, б; фиг.3-25, б; фиг.3-26, б; фиг.3-28;

2. Съкращения на системи, звена и техни елементи

Б - база;

ДОС - допълнителна отчетна система;

ДЕОС - допълнителни елементи на оптичната система;

ДЛ, дл - двураменен лост;

ДК, дк - динамометричен ключ;

ЕИТ - електронно-изчислителна техника;

- ИСС – измервателна схема за сравнение;
- ИУ – измервателно устройство;
- КЕРФЕ – комплексен (комбиниран) ЕРФЕ;
- КП – компенсиращ преобразувател;
- МДФИС – метод за допълнително формиране на измервател-
ния сигнал;
- $ME_{\text{пе}}$ ($ME_{\text{ве}}$) – междинен елемент на ПЕ (ВЕ);
- МЗ – метод на заместване;
- МП – междинен прът;
- НДПМП – недеформируем ПМП;
- НИ – нулев индикатор;
- ОФВ – образцова физическа величина;
- ОФУ – схема за функционална унификация;
- РРУ – ръчно регулиращо устройство;
- ТЗ – техническо задание за разработка;
- ФЗ – функционална (функционални) зависимости;
- $СИ_1$ – средство за измерване включващо ПМП и СИ ;

У В О Д

Устройствата за измерване на механични премествания и сили са част от най-разпространените в практиката средства за измерване (СИ). Те подпомагат развитието на науката и техниката още в началните им етапи, когато определянето на дължини, размери на предмети, изминати разстояния, тегло, сила, товароподемност и др., съпътствуват ежедневието на хората и формират характера на техните взаимоотношения.

Измерванията на въртящи моменти от сили (двоица сили), датират от по-късен период на общественото развитие, успоредно с напредъка на двигателостроенето и съответното машиностроене. Те служат за определяне въртящия момент и мощността на задвижващи устройства, а така също за гарантиране качеството и експлоатационните показатели на тези съоръжения след монтаж, особено в условията на развиващото се едросерийно и масово производство.

Съвременното ниво на методите и СИ от разглеждания вид се формира в съответствие с най-новите постижения на науката и техниката, като обхваща всички етапи от процеса на измерване. Негова отличителна черта е стремежът към пълна автоматизация и електронизация, които в значителна степен регламен-

тират високите качества на СИ като повишена точност, дълговечност, надеждност, функционална и експлоатационна ергономичност, намалено влияние на обективните и субективни фактори върху крайния резултат от измерването и т.н. Така се постига достоверност при формиране и предаване на размерната единица на кое да е ниво от съответната проверочна схема, включваща еталонни, образцови и работни измервателни устройства.

Метрологичните и експлоатационни характеристики на СИ от проверочната схема се осигуряват в уредостроителната практика по два начина:

- създават се уникални схемни и конструктивни решения, в които се въвеждат допълнителни възли за активно компенсиране на грешките при измерване. Така се изграждат еталонни и образцови средства в единично изпълнение и с най-високи изисквания към метрологичните показатели, без оглед на необходимите за това разходи;

- проектират се СИ с пасивни устройства за регулировка и настройка за компенсиране на технологични и конструктивни грешки и намаляване влиянието на външни фактори върху точността на измерване при експлоатация. Така се конструират серийни образцови и работни СИ, когато цената им е лимитирана и е нецелесъобразно използването на уникална и скъпоструваща измервателна техника с екстремални метрологични характеристики.

През последните години в нашата страна се наблюдава една устойчива тенденция към увеличаване на устройствата за измерване на механични премествания, сили и въртящи моменти от сили. Значителна част от тях се явяват СИ от ново поколение, предназначени за издигане нивото на еталонната и образцова

база в страната, обезпечаване на производството с необходимо-
то метрологично осигуряване, гарантиране ефективността и ста-
билизиране качеството на произвежданата продукция.

Усъвършенствването на методите и средствата за измерване
от разглеждания вид и тяхното метрологично осигуряване са
фактори от първостепенна важност за народното стопанство,
определяни от вече създадената структура на производство в
нашата страна и бъдещите перспективи за нейното развитие.

Целта на дисертационния труд е да се разработят методи и
средства за високоточно статично измерване на линейни премес-
тавания и въртящи моменти от сили, с чиято помощ да се
създадат прецизни средства за техническо измерване на стойно-
стите на тези механични величини и образцови и еталонни сред-
ства за метрологично осигуряване на измерванията.

Г Л А В А 1

ОБЗОР НА МЕТОДИТЕ И СРЕДСТВАТА ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА МЕХАНИЧНИ ПРЕМЕСТВАНИЯ, СИЛИ И ВЪРТЯЩИ МОМЕНТИ ОТ СИЛИ

1.1. Класификация на средствата за измерване

Значителна част от използваните СИ на механични премествания, сили и въртящи моменти от сили са изградени върху основата на механични, оптични и оптикомежанични физични принципи и методи за преобразуване. В недалечното минало това положение се е определяло от общото ниво на техниката и ограничените технологични възможности на уредостроителното производство. Независимо от недостатъците, съпътстващи устройствата от посочения вид, те са намирали и намират широко приложение в практиката.

От разгледаните в [3, 38, 52, 75, 85, 88, 92, 104, 105] СИ за механични премествания, към собствено механичните се отнасят: шублери, микрометри, различни типове универсални и специални микрометрични уреди, индикаторни часовници, микрокатори и др. Те се използват в цехови и лабораторни условия за измервания със сравнително ниска (до 1 мкм) дискретност на отчитане. Като изключение могат да бъдат посочени микрокаторите и микрометричните скоби, които изискват гарантирани специални условия на работа за реализиране с необходимата точност на дискретен отчет $0,1 \div 0,5$ мкм.

Измервателните машини, хоризонталните и вертикални дължиномери и оптиметри, компаратори, инструментални и универсални микроскопи, проектори, оптикатори и др. [9, 38, 39, 52, 54, 85, 88, 92] се отнасят към оптико-механичните устройства. Те реализират измервания със стойност на дискретен отчет от $0,1 \div 1$ мкм, като точността в повечето случаи е в зависимост от конкретните условия на работа.

В метрологичната практика [38, 54] няма единно мнение за принципната разлика между оптико-механичните и оптични СИ. В тази връзка, с известен резерв, към само оптичните устройства за измерване на премествания могат да бъдат отнесени обикновените микроскопи, проекторите в случай на сравняване контура на измервания детайл, профили на резби, зъбни колела и др. с шаблон, чрез наслагване на двете оптични изображения. Следва да се подчертае, че разновидностите на само оптичните СИ на механични премествания са сравнително малко и служат за ограничен вид измервания.

Устройствата за измерване на сили включват като първичен преобразувател еластичен елемент, подложен на огъване или усукване под действието на измерваната физична величина. Отчитането на деформациите се извършва със СИ на механични премествания [3, 57, 93, 104, 105] .

Към уредите за измерване на маса се отнасят: еднораменни и двураменни везни, устройства с еластичен преобразувателен елемент и др., като отчитането на стойността на измерваната величина се извършва както при измерване на сили [13, 93, 105, 123].

Устройствата за измерване на въртящ момент от сили, изградени като механични или оптико-механични елементи, включват механизми с еластичен преобразувателен елемент, ъфрикцион-

ни спирачки, еднораменни и двураменни лостови системи за статично формиране и предаване на въртящ момент от сила и др. [52, 78, 93].

Използването на СИ с висока точност, реализирани изцяло върху механични, оптични и оптико-механични методи за преобразуване и отчитане е свързано с известни ограничения. Това се определя от повишените експлоатационни изисквания за намаляване на въздействието на външни влияещи фактори (температура на околната среда, вибрации и др.), необходимостта от висока точностна надеждност, увеличен измервателен обхват, автоматизиране на измервателните процеси, включване в автоматични технологични линии на производство и т.н. [3, 35, 53, 85, 105]. Удовлетворяването на всичките тези изисквания от СИ построени само върху изброените физични принципи практически е невъзможно.

Съвременното производство налага използването на СИ с високи метрологични и експлоатационни възможности, което естествено стимулира научните и научно-приложните изследвания за развитието на техническата метрология и, в частност, на устройствата за измерване на механични премествания, сили и въртящи моменти от сили. Такива изследвания се извършват основно в три направления:

- усъвършенстване на вече доказали своите високи практически качества "класически" (механични, оптични и оптико-механични) методи и средства за измерване. Осъществява се чрез прилагане на модерни технологии и методи за по-прецизно изработване на СИ, разработване на нови, научно и експериментално обосновани методи, схемни и конструктивни решения, използване на нови материали и т.н. [1, 105, 134];

- модернизация на "класическите" методи и средства чрез

вграждане на допълнителни елементи за преобразуване и регистриране на измерваната физична величина по електричен път. Този подход е един от най-често прилаганите в метрологичната практика, като дава допълнителни възможности за подобряване на метрологичните и експлоатационни параметри на съществуващите методи и СИ [3, 9, 10, 26, 27, 32, 52, 85, 93, 105, 106, 129];

- създаване на методи, схемни и конструктивни решения на СИ чрез по-пълно използване възможностите на известните физични принципи и методи за измерване, чрез прилагане на принципно нови или съчетаване на два и повече известни физични принципа и т.н. Този подход е особено перспективен и в настоящия момент заема водещо място в уредостроенето. Основни негови предимства са: реализиране на методи и СИ с подобрени метрологични и експлоатационни параметри, увеличена номенклатура на видовете измервания и т.н. [3, 9, 10, 26, 27, 37 ÷ 39, 52, 85, 87, 104, 105, 113, 129, 131].

В табл.1.1. са систематизирани основните физични принципи за преобразуване на измервателния сигнал, използвани в метрологичната практика за изграждане на СИ на механични премествания, сили (Р), маса (М) и въртящи моменти от сили.

Според начина за възприемане на измерваната величина те се делят на две основни групи - контактни (К) и безконтактни (Б), като всяка от тези групи се формира от устройства за абсолютни (А) и относителни (О) измервания [8, 9, 15, 27, 52, 56, 75, 85, 103 ÷ 105, 117, 133, 139].

Измервателните процеси се извършват в положение на покой или относително преместване между СИ и обекта на измерване [8, 20, 52, 56, 106, 117]. Често относителното преместване е и абсолютно, тъй като един от елементите (СИ или обекта на

измерване) е свързан с неподвижното пространство. Взаимната връзка се реализира непрекъснато (контактно или безконтактно) или дискретно – чрез вибрации или сканиране [75, 81, 122] .

Параметрите на контролираната величина могат да се възприемат пряко (Π), чрез непосредствено измерване, или косвено (K_0), чрез измерване на други физични величини със сходен или различен произход, свързани с измерваната величина посредством механични, оптични, електрични, различни варианти на комбинирани от тях и други връзки.

В зависимост от броя и физичния произход на едновременно измерваните величини, различават се съвкупни (при няколко еднородни) или съвместни (при нееднородни величини) методи на измерване [8, 34, 39, 52, 56, 85, 93, 94] .

Общ недостатък на косвените методи е удължената измервателна верига, което увеличава вероятността за възникване на допълнителни грешки в процеса на измерване. Независимо от това, подходът се прилага широко в метрологичната практика за реализиране на нови физични принципи и методи за измерване с универсално и специално приложение. За повишаване точността на тези устройства се обработва допълнително измерваният сигнал, най-често без участие на първичния преобразователен елемент.

В тази връзка, определени предимства имат методите за измерване на физични величини по електричен път, които следва да се приемат като косвени методи [3, 39, 94] . Физичната величина се преобразува в електрически сигнал, с чиято помощ и след допълнителна обработка, се определя стойността на измерваната величина. Създадените на тази база устройства са с пряко, непряко и косвено преобразуване на електрическия сигнал. Те са подходящи за вграждане в автоматизирани измерва-

телни комплекси за пасивен и активен контрол [14, 37 ÷ 39, 53, 75, 88, 92, 106, 111] , в действащи сложни механизми и съоръжения с дистанционни системи за контрол и управление и др. [3, 37, 39, 104] . Лесно се свързват с компютърни средства, като формират информационни системи [37, 105, 122, 131] .

Както се вижда от табл.1.1. измервателните устройства, изградени с използване на електрически методи за измерване и преобразуване на първичната физична величина, заемат водещо място в метрологичната практика, като значителна част от научните изследвания и реализации в областта на уредостроенето се свързват с тяхното развитие и усъвършенстване.

Направените проучвания [10, 41, 87, 105] показват, че в специализираната литература не съществува единно мнение относно точната класификация на СИ, изградени върху електрически принципи за измерване и преобразуване. На практика, класификационните признаци се поставят в зависимост от конкретните цели и задачи за решаване, които са си поставяли отделните автори.

За сравнително най-изчерпателна може да се приеме класификацията, изложена в [57, 94] , изградена съгласно: принципа на действие; начина на преобразуване; начин на получаване на числената стойност на измерваната величина; условията на използване; степента на защитеност от влиянието на външни магнитни и електрически полета; якостта и устойчивостта на механични въздействия и претоварване; стабилността на показанията; степента на чувствителност; принципа и обхвата на измерване.

Тази класификация е твърде сложна, необозрима и хетерогенна. Не се отчитат ясно индивидуалните особености на ус-

тройствата за измерване на различните физични величини и, в частност, за измерване на механични величини. Така се затруднява разработването на ефективни методи и средства за повишаване на метрологичните им характеристики.

В табл.1.1. е предложена класификация на съществуващите СИ на механични премествания, сила (маса) и въртящ момент от сила, в зависимост от използваните физични явления за възприемане, преобразуване и отчитане на измерваната величина. Тя отчита възможността за изграждане на устройства с използване на съвкупни и съвместни методи за измерване.

Със символа "+" (да) са означени описани в литературата начини за възприемане и отчитане на физичната величина и реализирани уреди за измерването ѝ. Литературните източници са посочени в колонка. Символът "-" (не) характеризира отсъствието на информация за реализирани принципи и схемни решения.

Вижда се, че седем от представените физични принципа на преобразуване могат да бъдат използвани за изграждане на схеми за измерване на всяка от разглежданите в колонки 9 ÷ 12 величини.

Създаването на СИ с оптимални метрологични параметри изисква намаляване на влиянието на външни влияещи фактори за осигуряване на достоверност при възприемане, преобразуване, предаване, отчитане и фиксиране на измерваната величина, свързани с конкретното схемно и конструктивно решение на СИ.

Класификация на СИ за механични премествания,
сили и въртящи моменти от сили

Табл.1.1.

Физични принципи на преобразуване	№ на допълн. прил. физич. прин. за преобр.	Начин на възприемане и отчет на измерв.вел.						Реализирани СИ на меха- нични вели- чини				Публикации
		× К	× Б	× А	× О	× П	× К ₀	× М _П	× С	× М	× ВМС	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<u>1. Механични</u>												
1.1. Механичен	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	13, 19, 38, 52, 68, 78, 85, 88, 92, 93, 99, 104, 105, 108, 114, 116, 123 + 126, 138
1.2. Пневматичен	1.1	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	38, 39, 75, 85, 88, 92, 93, 104, 105, 111
1.3. Деформационен	1.1	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	3, 13, 52, 57, 68, 85, 88, 92, 104 + 107, 121, 123
1.4. Хидравличен	1.1 1.3	+	-	+	-	-	+	-	+	+	+	52, 68, 93, 104, 105
1.5. Хидростати- чен	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	13, 93, 123
2. Оптичен	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	9, 52, 54, 105
<u>3. Електрични</u>												
3.1. Електросъ- противи- телен	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	3, 10, 41, 52, 57, 87, 104, 105, 111
3.2. Капацити- вен	-	-	+	+	+	-	+	+	+	-	+	3, 10, 39, 41, 52, 57, 68, 75, 85, 87, 88, 92, 104, 105, 111, 127, 130
3.3. Пиезоелек- тричен	-	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	3, 41, 57, 68, 87, 104, 105, 111, 113
3.4. Тензомет- ричен	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-	3, 13, 41, 52, 57, 68, 87, 99, 105, 111, 120, 135, 136
3.5. Фотоелек- тричен	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10, 39, 52, 57, 58, 68, 75, 85, 87, 92, 93, 103, 105 + 107, 111, 128, 129

Табл.1.1. - Продължение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3.6.Индуктивен	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	3, 10, 38, 39, 41, 52, 57, 68, 75, 85, 87, 92, 93, 104, 105
3.7.Индукционен	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	3, 38, 41, 52, 57, 68, 86, 88, 104, 108, 111
3.8.Механотронен	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-	-	10, 39, 41, 57, 75, 85, 92, 111
3.9.Магнитоеластичен	1;3.	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	3, 10, 15, 41, 52, 57, 68, 79, 104, 105, 111
3.10.Магнито-стрикционен	1;3.	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	109
3.11. Ефект на Хол	1;3.	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-	10, 41, 57, 75, 87, 105, 111
3.12. Струнен (честотен)	1;3.	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	3, 52, 57, 92, 104, 111
3.13. Ефект на Вигант	-	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	119
3.14. Радиоизотопен	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	10, 38, 39, 52, 75, 87, 93, 104, 105, 111
3.15.Акустичен	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-	-	83
3.16.Радиотелеметричен	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	+	52, 117
<u>4. Съставни</u>												10, 41, 54, 85, 88, 92, 104, 105, 107
4.1.Оптико-механичен	1;2.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
4.2.Механо-електрични												
4.2.1.Електро-контактен	1;3.	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	3, 10, 39, 68, 75, 85, 92, 93, 104
4.2.2.Пневмо-електроконтактен	1;3.	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-	92
4.2.3.Пневмоиндуктивен	1;3.	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-	85
4.2.4. Пневмо-капацитивен	1;3.	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-	75
4.2.5.Пневмофотоелектричен	1;3.	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	10, 39, 92
4.2.6.Жироскопен	-	+	-	-	+	+	-	-	-	+	-	93

Табл.1.1 - Продължение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<u>4.3.Оптико-елек-</u> <u>трични</u>												
4.3.1.Опто-елек- тронен	2;3.	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	52,54,56,68,118, 133,137,139
4.3.2.Влакнесто- оптичен	2;3.	-	+	+	+	-	+	+	-	-	-	2,129,132
4.3.3.Лазерен	2;3.	-	+	+	+	-	+	+	+	-	-	9,27,75,92,121
4.3.4.Телеви- зионен	2;3.	-	+	+	+	-	+	+	-	-	-	75,129,139
4.3.5.Индуктив- нофотоелек- тронен	3.5. 3.6.	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	92
4.3.6.Хологра- фичен	2, 4.3.1	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-	27, 52
<u>4.4.Оптико-механо-</u> <u>електрични</u>												
4.4.1.Стробо- скопичен	1.2.3	-	+	-	+	-	+	-	-	-	+	68, 94
4.4.2.Фотоела- стичен	1.3 3.6	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	52,68,80,121, 132

※- Приети означения в таблицата: К - контактен; Б - безкон-
тактен; А - абсолютен; О - относителен; П - пряк; К_О -
косвен; МП - механично преместване; С - сила; М - маса;
ВМС - въртящ момент от сила; "+" - да; "-" - не.

Възможностите за това в значителна степен се определят от схемата за преобразуване на измервателния сигнал, на базата на която е изградено всяко отделно или група еднотипни СИ.

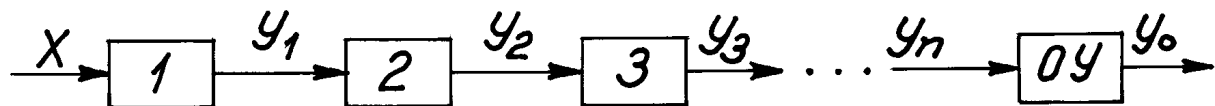
1.2. Схеми за преобразуване на измервателния сигнал

Съгласно [7, 57, 79, 87, 93, 105, 111] в метрологичната практика, независимо от вида на измерваната величина, се прилагат четири основни схеми:

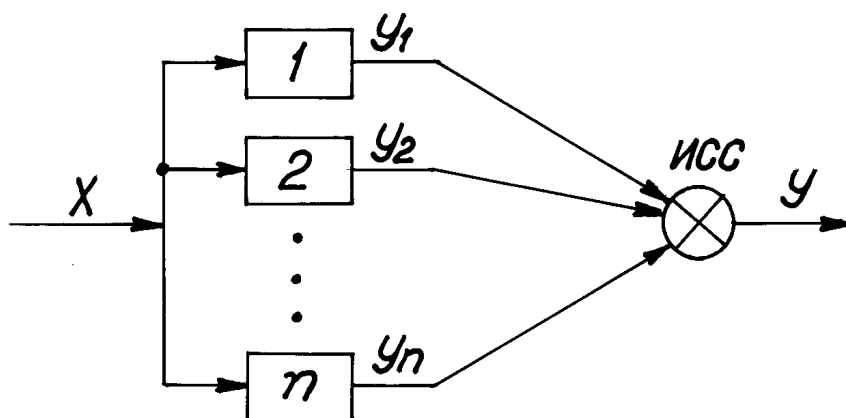
Схема на непосредствено (право) преобразуване, при която преобразователният процес и предаването на информацията се извършват едновременно от входа към изхода. Тази схема е отворена. Прилагат се две разновидности на построяване: с последователно съединяване на звената (фиг.1-1) и с паралелно съединяване на звената (фиг.1-2). На фигурите са означени с X - измервана физична величина; Y - изходен сигнал на ПМП след преобразуване на X ; n - звено (самостоятелен функционален или конструктивен елемент в схемата на преобразуване на X , Y_z , ($z=1, \dots, n$) стойност на сигнала на изхода на z -то звено; Y_0 - отчетена стойност на Y ; ИСС - измервателна схема на сравнение; ОУ - отчетно устройство.

Схема на сравнение в неравновесен режим (диференциален метод), при която преобразуването и предаването на информацията се извършва едновременно (фиг.1-3), но се отчита разликата между Y_n и компенсиращата стойност $Y_{кп}$ на изходния сигнал. Тук КП е компенсиращ преобразовател, въздействието върху който се осъществява дискретно от оператор.

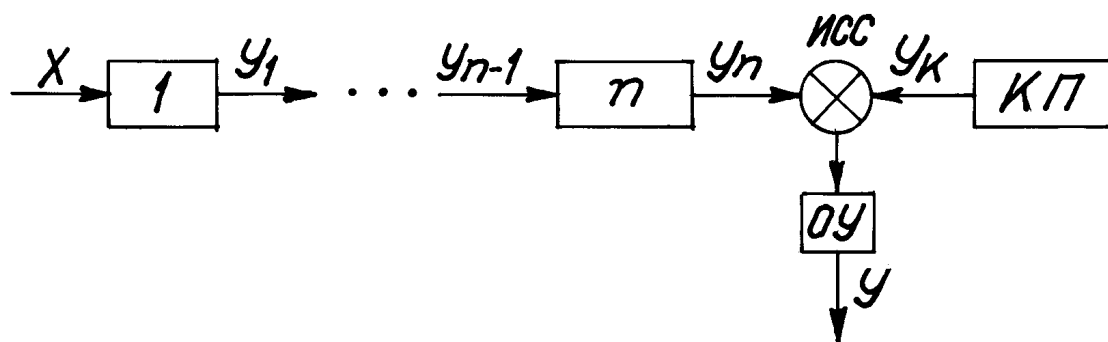
Схема на сравнение в равновесен режим (фиг.1-4). В тази схема КП е регулируем и се постига пълна компенсация на Y_n , което се регистрира при отсъствие на отклонение на нулевия индикатор НИ. Обратната връзка се осъществява непрекъснато от оператор.



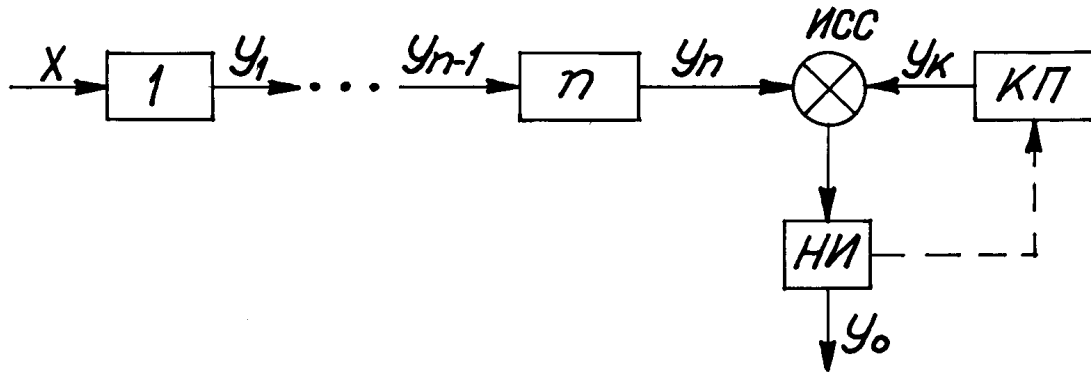
Фиг.1-1. Схема на СИ, работещо по метода на непосредственото (право) преобразуване на измервателната информация, изградено чрез последователно съединяване на звената.



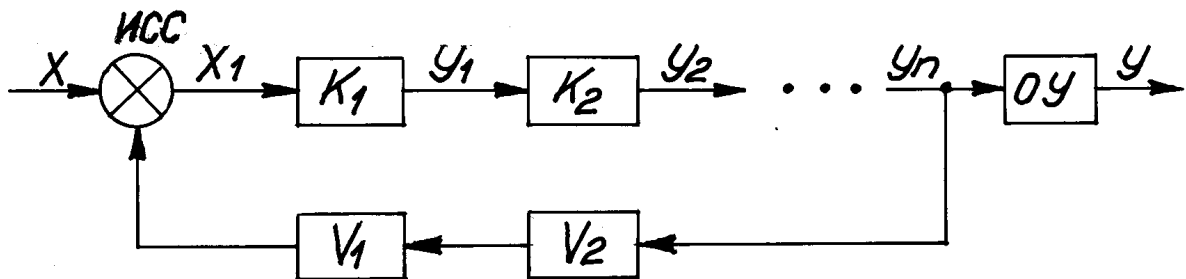
Фиг.1-2. Схема на СИ, работещо по метода на непосредственото (право) преобразуване на измервателната информация, изградено чрез паралелно съединяване на звената.



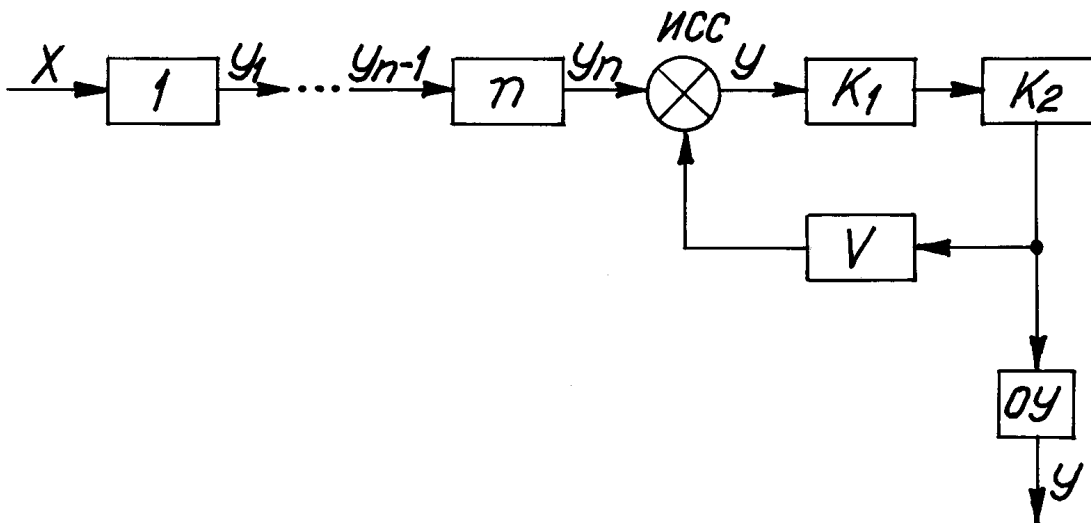
Фиг.1-3. Схема за изграждане на СИ, работещо в неравновесен режим (диференциален метод), чрез сравняване на измервателна и компенсираща информация.



Фиг.1-4. Схема за изграждане на СИ, работещо в равновесен режим чрез сравняване на измервателната и компенсираща информация.



Фиг.1-5. Развитие на схемата от Фиг.1-4, чрез въвеждане на автоматична компенсация на измервателния сигнал преди неговото първично преобразуване.



Фиг.1-6. Развитие на схемата от Фиг.1-4, чрез въвеждане на автоматична компенсация на измервателния сигнал след неговото първично преобразуване.

Една развита модификация на посочената на фиг.1-4 схема е схемата на сравнението в равновесен режим с автоматична компенсация. Тя се реализира в два варианта - с компенсация на входа (фиг.1-5) или на изхода (фиг.1-6) на веригата за преобразуване на измерваната величина X . Схемата е комбинирана и включва отворена и затворена част. Затворената част се характеризира с верига за право преобразуване K (K_1, K_2) и верига на обратното преобразуване V (V_1, V_2), наричана още отрицателна обратна връзка. В правата и обратна верига могат да участвуват голям брой преобразуватели, като колкото по-голяма част от тях са обхванати от отрицателна обратна връзка, толкова точността на уреда е по-висока.

От вида на схемата за преобразуване на измервателния сигнал зависи вида и на получаваната обща грешка на СИ в зависимост от грешките на участващите преобразуватели, като уредите със затворена структурна схема са по-точни [87]. Затова изборът на схемата за преобразуване се определя от експлоатационните изисквания към СИ и от стойностите на метрологичните параметри, която тя осигурява.

За целта, значителна част от теоретичните разработки и конструктивни решения на измервателни уреди, описани в специализираната литература, са насочени към подобряване преди всичко на техните метрологични параметри (точност, точностна надеждност и др.). В тази връзка, изследванията на СИ се провеждат в статичен и динамичен режим, като точността се свързва пряко с грешките на измерване при определени условия. Точността се определя за конкретен и за кой да е цикъл на измерване. На теоретично и експериментално изследване подлежат грешки, класифицирани по размерност (абсолютни, относителни, приведени относителни), по характера на връзките между стой-

ността на грешката и нивото на сигнала, по закономерността на тяхното появяване при многократни изпитвания на СИ (систематични и случайни), по причините за тяхното проявяване (методични и инструментални), по условията за тяхното появяване статични и динамични и др. [3, 7, 8, 20, 34, 56, 57, 86, 88, 94, 104, 105, 111].

Точността на СИ се лимитира от чувствителността на устройствата, спазването на принципа на Абе [88], който изисква линията на изменение на измерваната физична величина да съвпада с линията на измерване и не на последно място от избрания метод за измерване на механичната величина при нейното възприемане и преобразуване в еквивалентен електрически сигнал. В тази връзка, се отделя внимание на началните звена от измервателната верига и тяхното влияние върху достоверността на крайния резултат от измерването [3, 16, 131]. Най-често се предпочитат контактните методи за възприемане на физичната величина, но практическата необходимост от разширяване номенклатурата на извършваните видове измервания налагат използването и на безконтактни методи. Те са особено подходящи в условията на едросерийното и масово производство за активен контрол на движещите се обекти. В отделни случаи, първичният сигнал преди неговото преобразуване в електрически, се подлага на допълнителна обработка. Например, при контактните СИ се предизвикват допълнителни вибрации на осезателите, а при безконтактните – модулация и кодиране по определен начин [11, 52, 56, 75, 81, 105, 111, 122].

Сериозно внимание е отделено на методите за преобразуване на първичния измервателен сигнал и формата на еквивалентния електрически (аналогов или дискретен) сигнал. Дискретната форма е по-удобна за последваща обработка, регистрация, авто-

матизация на измерванията и компютърна обработка. Дискретният сигнал е предпочитан и за предаване на измервателна информация на разстояние, тъй като в по-малка степен е подложен на изкривявания и външни смущаващи влияния [7, 11, 20, 56, 104, 105].

На практика, първичният електрически сигнал най-често е аналогов. В зависимост от вида на преобразувателя, този сигнал може да бъде с променлива амплитуда и фаза на напрежението или с променлива сила на тока [3, 46, 103, 104], които допълнително се кодират или модулират. Най-често срещаните форми на модулация на сигнала са: амплитудна, честотна, фазова, многократна (амплитудно-фазова, честотно-фазова, амплитудно-честотна) и импулсна [3, 7, 11, 112, 128]. Съгласно [104], импулсната модулация бива амплитудно-импулсна, широчинно-импулсна, честотно-импулсна, фазово-импулсна и кодово-импулсна. При последваща обработка на сигнала от ЕИМ или получаване на индикация в цифров вид се прилага числово кодиране [11, 104, 105, 111, 122].

Схемните решения на значителна част от съвременните СИ включват нелинейни елементи, които допълнително променят вида на преобразувателната функция. В този случай за минимизиране на нелинейността се въвеждат компенсиращи и коригиращи устройства. Те могат да бъдат от механичен, оптико-механичен, електричен и т.н. тип, и се изпълняват от единични елементи или отделни устройства, участващи в структурната схема на измервателното устройство [3, 11, 12, 14, 21, 25, 44, 50, 56, 63, 84 ÷ 86, 90, 101, 104, 107, 111, 121, 124].

Модулацията на сигнала, корекцията и компенсацията се отнасят към структурните методи за повишаване точността на СИ [7, 11, 25, 56, 85, 111]. Съществуват още метод с въвеждане

на еталонен сигнал и метод за повишаване динамичната точност на устройствата чрез въвеждане на последователни, паралелни и обратно паралелни коригиращи звена [7, 11, 27, 86]. Перспективно направление за реализирането на СИ с високи метрологични параметри е създаването на групови СИ. За целта, няколко първични измервателни устройства, предназначени за измерване на една и съща или няколко взаимосвързани физични величини се обединяват в едно общо групово СИ [3, 7, 36, 48, 76, 89, 104]. Тези устройства могат да бъдат различни по точност и вид.

Точностните изследвания на СИ са насочени към теоретично и емпирично определяне на основните, вътрешни за измервателните системи източници на грешки и на вътрешните фактори, като се оценява степента на тяхното влияние върху метрологичните и експлоатационни характеристики на СИ [4, 7, 8, 14, 20, 34, 56, 85, 94, 111].

Външните фактори могат да бъдат от механичен (вибрации, удари, силови въздействия и т.н.); оптичен (запращаност на околната среда и т.н.); енергетичен (промяна в параметрите на захранващата енергия) произход; да са свързани с промяна в параметрите на обкръжаваща среда (температура, влажност, магнитни и електромагнитни полета, различни видове лъчения) или с физичното състояние на обекта на измерване (чистота на повърхнините, деформации, вътрешни напрежения и др. [3, 5, 7, 8, 14, 23, 27, 28, 34, 35, 47, 50, 53, 54, 57, 77, 86, 88, 93, 94, 105, 117]).

Пряко следствие от действието на тези фактори върху измервателното устройство е възникването на промени в геометричните и функционални параметри на част от неговите конструктивни елементи. Като резултат, възникват грешки от измер-

ване, за чието минимизиране се прилагат методи и средства, използвани за намаляване на влиянието на вътрешните източници на грешки [11, 14, 35, 47, 50, 53, 56, 57, 84, 85, 86, 88, 90, 93, 101, 104, 105, 107, 121]. Така се създават условия за единен подход към регламентиране и нормиране на метрологичните и експлоатационните параметри на СИ, което окончателно се извършва след провеждане на експериментални изследвания за определяне класа на точност и разряда на съответния вид измервателни устройства [3, 8, 10, 24, 34, 56, 57, 86, 105, 106]. Изпитванията се провеждат съгласно стандартни, нормализирани и индивидуални методики за метрологична атестация и проверка [5, 20, 86, 94].

Допълнителните устройства, които се използват за атестация и проверка на СИ могат да бъдат универсални и специализирани, предназначени за изследване на определен вид СИ [5, 10, 18, 20, 85]. Точностните и експлоатационни изисквания към тези устройства са завишени за гарантиране достоверността на получаваните резултати от измерване, като задължително се съблюдават условията за възпроизвеждане, съхраняване и предаване на измервателната единица, нормирани в съответните проверочни схеми [5, 17, 20, 34].

Разнообразните цели и задачи, свързани с измерване на разглежданите механични величини в съвременните научни, научно-приложни и производствени дейности, нерядко налагат използването на диференциран подход за тяхното решаване, който за момента се е оказал най-целесъобразен. В случая, решаващо значение има вида на измерваната физична величина, конкретните нужди на производството, условията на експлоатация, спецификата и важността на задачите, които следва да се решават, мултиплициращият ефект, който ще окажат резултатите от измер-

ванията върху качеството на продукцията и др. В зависимост от тези съображения се определя най-подходящия физичен принцип, схема на преобразуване, конструктивно решение и др.

Например, при измервания на механични премествания в цехови и лабораторни условия, използваните СИ могат да бъдат контактни и безконтактни, но с различни метрологични възможности, съобразени с конкретните изисквания и условия за работа.

При измерване на сили и маса, за удовлетворяване на високи точностни изисквания е наложително отчитането на такива фактори, като местно и моментно земно ускорение, влажност на въздуха и др. Поставят се ограничения относно материала на образцовите теглилки, неговата хигроскопичност, износоустойчивост, корозионноустойчивост и др. [2, 3, 42, 57, 75, 93, 123].

При устройствата с еластичен преобразователен елемент са от значение хистерезиса на материала, измененията в околната температура, грешките и съответните характеристики на проявяване във вторичните механизми, преобразователи и СИ, които участвуват в кинематичната верига на основното измерване и др. [3, 6, 15, 33, 50, 57, 101, 107].

По аналогичен начин се регламентират точностните изисквания към устройствата за измерване на въртящ момент от сила. Например, динамометричните ключове, използвани като технологични контролни инструменти за работа в цехови условия е необходима точност от порядъка на $1 \div 20$ Н.м., докато във финната механика и електроизмервателното уредостроене тези стойности за използваните СИ са значително по-малки [52, 86].

За гарантиране на метрологичните и експлоатационни характеристики на измервателни преобразователи и устройства, опре-

деляща роля има нивото и развитието на необходимото метрологично осигуряване (МО) [5, 10, 17, 18, 20, 34, 85]. То включва преди всичко стендове и специализирани измервателни устройства за атестация и проверка на новоразработвани и намиращи се в експлоатация СИ и следва да гарантира тяхното достоверно окачествяване. В тази връзка, общият стремеж е изграждането на рационални схеми за предаване на еталонната и образцова физична величина (формирана от МО или от мярка) към проверяваното измервателно средство. За целта е наложително спазването на принципа на Абе или компенсиране на отклоненията, възникнали в резултат от компромисни и несъобразени с този принцип схемни и конструктивни решения. Допустимата грешка в предаване на образцовата физична величина следва да бъде като минимум на порядък по-ниска от очакваната за проверяваното СИ. Определено внимание се отделя за минимизиране влиянието на систематичните, случайните и субективни грешки, като се осигурява възможност за максимална компенсация на грешките, възникнали в резултат от действието на външни дестабилизиращи фактори.

Към основните метрологични и експлоатационни характеристики на измервателните устройства, могат да бъдат отнесени диапазона на показанията и измервателния обхват.

В метрологичната практика по-съществено значение има измервателния обхват, който характеризира областта от числени стойности на измерваната величина, за която са нормирани допустимите грешки на всяко конкретно СИ. Неговото разширяване намалява номенклатурата от еднотипни измервателни устройства, необходими за цялостно решаване на конкретен метрологичен проблем, създава реални условия за ограничаване на грешките в процеса на измерване в резултат от снижаване общия брой

допълнителни пренастройки и т.н. От друга страна, увеличеният измервателен обхват създава предпоставки за внасяне на грешки от систематичен и случаен характер, като тяхното компенсиране усложнява допълнително схемните и конструктивни решения на СИ. В този смисъл, оптималния измервателен обхват за всяко конкретно СИ е следствие от възможно най-целесъобразното съчетаване на тези две противоречиви условия при максимално удовлетворяване на метрологичните, експлоатационните и икономически съображения.

Съгласно [3, 49, 54, 56, 89, 91], в уредостроителната практика съществуват две тенденции за разширяване на измервателния обхват:

- В направление на по-малките значения, където се цели измерване на величина X чрез устройство с по-голяма от нея стойност на скално деление. В случая, най-често се използват увеличаващи многоканални нерегулируеми или едноканални регулируеми мащабни преобразуватели, по-чувствителни СИ с по-малка стойност на скално деление, едновременно използване на две и повече СИ с близки по значение стойности на скални деления за реализиране на нониусен ефект, преобразуване на основната величина в друга, за която са реализирани по-чувствителни СИ и съответни долни граници на измерване;

- В направление на по-големите значения, където величината X се измерва чрез устройство с по-малка от нея стойност на скално деление. За целта, се въвеждат мащабни преобразуватели за намаляване стойността на скално деление, мерки с увеличена степен на квантоване, основната величина се преобразува в друга, за която са създадени СИ със съответните горни граници на измерване, едновременно се прилагат относителни и абсолютни методи за измерване на една и съща величина, използват

се няколко СИ с по-малки по отношение на основния диапазони на измерване, мащабни преобразуватели с последваща компенсация за коригиране на грешките при измерване и т.н.

На практика, тези две тенденции за разширяване на измервателния обхват удовлетворяват напълно метрологичните и експлоатационни изисквания на съвременното уредостроене, което се характеризира с увеличена динамичност в развитието на конструктивните, експлоатационните и технологични параметри на произвежданите изделия. Аналогично, и в научните изследвания нараства обемът на решаваните фундаментални проблеми и практически задачи в областта на метрологията. Осигуряването на този процес налага завишени изисквания към номенклатурата и точността на необходимите видове измервания. Тяхното удовлетворяване чрез индивидуални разработки, свързани с всяка конкретна практическа задача е дълъг, трудоемък, скъп и нерационален подход. За неговото оптимизиране нееднократно са правени успешни опити за създаване на единни системи от унифицирани и агрегатирани измервателни устройства [57, 85, 92, 105, 110].

Унификацията и агрегирането като идеи и последващо развитие са известни в машиностроенето още от 40-те години [110]. В уредостроителната практика, този процес (особено що се отнася до създаването на СИ на механични величини) се развива по-късно и е свързан преди всичко с успешната реализация на устройства с електрическо преобразуване.

На настоящия етап има внедрени унифицирани измервателни уреди за механични величини с различно предназначение [26, 54, 85, 92, 110, 139]. Те са изградени като отделни модификации СИ, чрез многовариантно комбиниране на група унифицирани възли и устройства, които включват измервателни глави с

различни метрологични и експлоатационни възможности, различни типове първични преобразуватели, отделни елементи на оптико-механични и пневматични прибори, печатащи и индикаторни устройства, електронни блокове и преобразуватели и др. Успехи в това направление през последните години са постигнали такива водещи фирми като: **"Mahr"**, **"Tesa"**, **"Sartorius"**, **"Mitutoyo"**, **"Heidenhain"** и др.

Най-често в метрологичната практика се реализират:

- функционално-възлова унификация (предимно в електрониката), при която сложни електронни блокове се разделят на конструктивно завършени модули с определени функции (усилване, формиране, преобразуване на сигнала и др.), но без самостоятелно експлоатационно предназначение [85, 110, 118, 139];
- базови конструкции, към които се монтират различни допълнителни елементи за получаване на една или друга модификация измервателни устройства с различни експлоатационни и точностни възможности [22, 139];

Направените проучвания показват, че унификацията и агрегирането все още не се прилагат при схемните и конструктивни реализации на самите измервателни преобразуватели.

Съществено значение при изграждане на устройства с оптимални метрологични, експлоатационни, конструктивни и технологични параметри оказва възприетия подход за проектиране, като се прилагат различни методи, които съдържат идеята за повишаване точността, дълговечността, експлоатационните периоди, качеството и надеждността на СИ. За целта, се гарантира определена грешка на измерване при проектиране на измервателните уреди, която следва да бъде обезпечена при тяхното производство и през целия нормиран период на експлоатация. В този смисъл следва да бъдат осигурени стабилни параметри на

материалите, стабилност на измервателния механизъм и конструкцията на уреда и т.н. [131].

Теоретичните изследвания се осъществяват чрез математическо моделиране, като за целта се създават алгоритми за оптимално (съгласно условията за разработка) функциониране [3, [4, 16, 43, 57, 85, 88]]. Въз основа на получените резултати, от анализа се регламентира определено съчетание между отделните метрологични, експлоатационни и технологични параметри на проектирания уред. При необходимост, те се оптимизират за пълно удовлетворяване изискванията на техническото задание за разработка, съобразно технологичните възможности на уредостроенето в съответното направление. Например, за оптимизация на структурите, параметрите и основните характеристики на СИ в [4, 20, 43, 55, 82, 85, 88, 111] се предлагат методи за проектиране, чрез математическо описание на процесите в самите устройства и техните отделни компоненти. Определени са съвременните изисквания при проектиране и оптимизация на функционални измервателни схеми и реализирани СИ като отделни функциониращи системи. В практиката, подходът е известен преди всичко като метод за функционално проектиране..В [43, 55, 102], той е разгледан в обобщен вид, като не са конкретизирани пътищата за неговото реализиране в практиката. Доказана е целесъобразността на този метод, за оптимизиране на проекто-конструкторската дейност при разработка и внедряване на нови СИ. Така се създава реална възможност за унификация на процеса и широко използване на ЕИТ. Съгласно направените проучвания [4, 21, 43, 51, 55, 82, 110] , този подход не се прилага широко при реализирането на устройства за измерване на механични премествания, сили (маса) и въртящи моменти от сили. В случая, възникват трудности при систематизирането на

всички данни за съществуващите схемни и конструктивни решения на СИ, поради значителното разнообразие на използвани физични принципи и методи на измерване, обема на последваща обработка, увеличеното количество метрологични и експлоатационни изисквания, които следва да бъдат удовлетворявани в практиката и т.н. Това силно затруднява пълното стандартизиране и унифициране на измервателните уреди по строго определени класификационни признаци. На практика преобладава оригиналност в схемните и конструктивни решения на СИ, като в отделни случаи се проявява определен стремеж на създателите да разглеждат всяко ново устройство изолирано от останалите [103]. Едновременно от това, значителна част от високоточните СИ притежават сравнително малък измервателен обхват, което силно ограничава кръга на тяхното приложение. В резултат от силно изразения стремеж и възможности за повишаване точността на новосъздаваните и реализирани в практиката СИ, не съществува единно мнение относно практически необходимите гранични стойности на този параметър [37, 45]. Все още увеличаването на производителността, точността и надеждността на измервателните устройства в известна част от случаите е свързано с неоправдано нарастване на тяхната себестойност [37]. Открит остава въпросът за възможно най-пълно компенсиране на грешките от влияние на външни фактори в процеса на измерване. Не рядко, ефективността и целесъобразността от внедрените реализации е занижена, поради съществуващия нерационален диференциран подход за тяхното решаване.

Все още реализираните схемни и конструктивни решения на устройства за измерване на две и повече различни по природа физични величини обхващат единични уникални СИ [29], независимо, че този подход значително би улеснил унификацията и агрегативането на измервателните устройства.

1.3. Задачи на дисертацията.

Съгласно направения анализ, най-перспективните за практическа реализация и приложения направления в развитието на измервателната техника включват създаване на методи и средства за повишаване точностните и надеждностни параметри на измервателните устройства; за проектиране на високоточни СИ с оптимални метрологични, конструктивни, експлоатационни и технологични параметри; за разширяване измервателния обхват на уредите и усъвършенствуване на техните експериментални и метрологични изпитания, проверка и атестация.

В този смисъл, основните задачи на дисертацията могат да бъдат формулирани, както следва:

1. Създаване и теоретично изследване на метод за изграждане на прецизни СИ на линейни премествания, сили и въртящи моменти от сили с подобрени метрологични и експлоатационни възможности;

2. Създаване и теоретично изследване на подход за реализиране на унифицирани СИ на повече от една различни по природата физични величини, чрез вграждане на първичен мащабен преобразувател /ПМП/ в схемата на измервателното устройство;

3. Развитие на унифициран подход за изграждане на уникални и универсални високоточни СИ;

4. Създаване и лабораторно експериментирание на схеми за метрологично изследване на високоточни измервателни устройства и разработване на методики за тяхната проверка и атестация;

5. Експериментална проверка на теоретично получените резултати при създаване на СИ с повишени метрологични и експлоатационни параметри, чрез разработване, изследване и внедряване на лабораторен стенд, за измерване на премествания /сили/ и образцово средство за формиране и предаване на въртящ момент

от сила, изградени по оригинални и авторски защитени схеми;

6. Разработване на методика за изграждане на образцови устройства и еталонен комплекс за формиране, предаване и измерване на въртящ момент от сила.

Така формулираните задачи са ориентирани към устройства за измерване на механични премествания, сили, маса и въртящи моменти от сили, поради актуалността на проблемите, които съществуват за този вид измервания. Едновременно с това, получените практически резултати могат да бъдат приложени в създаването на устройства за измерване и на друг вид физични величини, след извършване на необходимите допълнителни теоретични и експериментални изследвания за оптимизиране възможностите на предложените методи, съобразно конкретният вид измерване.

Г Л А В А 2

СИНТЕЗ НА ВИСОКОТОЧНИ ИЗМЕРВАТЕЛНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Разработването на високоточни преобразуватели и СИ на механични величини е свързано с удовлетворяване на редица, като правило противоречиви условия.

В главата е представен метод за изграждане на високоточни измервателни преобразуватели на механични величини чрез подобряване на метрологичните и експлоатационни характеристики на вече внедрени и новоразработвани измервателни устройства. Предложена е схема за функционална унификация на преобразуватели и СИ на механични величини, основана на принципите на функционалната взаимозаменяемост и низходящото проектиране. Разгледани са перспективите за използване на предложените метод и схема при създаването на унифицирани модулни преобразуватели за измерване на различни по природа физични величини и възможностите за унифициране на контролно-проверочните операции. Обоснована е необходимостта от експериментално, метрологично и нормативно осигуряване на модернизирани и новосъздадени средства за измерване.

Основните резултати от гл.2 са отразени в [63, 69, 70+73, 96].

2.1. Метод за допълнително формиране на измервателния сигнал

В основата на предлагания метод е положен принципът за намаляване на грешката чрез допълнителни компенсиращи въздействия върху измервателния сигнал, преди неговото регистриране като резултат от измерването. Едновременно с това, чрез въвеждане на допълнителни коригиращи въздействия, могат да се променят измервателният обхват, стойността на скално деление, чувствителността и функцията на преобразуване на измервателния сигнал. Така се създават предпоставки с използване на традиционни или създаване на оригинални схемни решения да се изграждат преобразуватели и СИ на физични величини трансформирани в механично преместване или еластична деформация, които в определена степен са нечувствителни към въздействието на външни влияещи фактори и свързаните с тях грешки от измерване. При това е възможно създаването на преобразуватели и СИ на две и повече физични величини.

На фиг.2-1,а. е представена схема на физичната постановка на задачата за измерване чрез преобразуване на величината $X^{(k)}$, която може да бъде: механично преместване ($k=1$), сила, маса ($k=2$) и др. в механично преместване или деформация на първичен недеформируем (фиг.2-1,б) или деформируем (фиг.2-1,в) мащабен преобразувател 1, във вид на конзолно закрепена греда. Към преобразувателя са фиксирани още устройство 2 за измерване на механични премествания (УИМП) или устройство за измерване на деформации (УИД); устройство 3 за реализиране на допълнителни въздействия върху първичния мащабен преобразувател (ПМП). Въведени са също следните означения: $y^{(k)}$ – механично преместване на т.А от ПМП под въздействие на $X^{(k)}$; $\Delta y^{(k)}$ – грешка на $y^{(k)}$; $\bar{y}^{(k)}$ – механично

преместване на т.Б от ПМП под въздействие на $X^{(k)}$; $\Delta \bar{y}^{(k)}$ - грешка на $\bar{y}^{(k)}$; $X_D^{(k)}$ - допълнително прилагана физична величина в т.В от ПМП за компенсация на $\Delta y^{(k)}$ или $\Delta \bar{y}^{(k)}$ и/или корекция на $y^{(k)}$, $\bar{y}^{(k)}$; $y_D^{(k)}$ - преместване в т.В от ПМП под въздействието на $X_D^{(k)}$ за компенсиране на $\Delta y^{(k)}$, $\Delta \bar{y}^{(k)}$ и/или корекция на $y^{(k)}$, $\bar{y}^{(k)}$. Грешките включват и знака.

Съгласно [63] за осъществяване на метода се възприема деформацията или механичното преместване по отношение на определена база в характерни точки от ПМП. Предизвикват се допълнителни деформации или механични премествания в характерните точки на ПМП за компенсиране на грешки или коригиране на измервателния обхват, чувствителността и други метрологични параметри на СИ.

Конфигурацията на ПМП може да бъде отворена (греда) или затворена (пръстен).

При отсъствие на допълнително въздействие, преместването $y^{(k)}$ на т.А от ПМП под действие на $X^{(k)}$ ще предизвика преместване $\bar{y}^{(k)}$ в т.Б, съгласно зависимостта:

$$(2.1.) \quad \bar{y}^{(k)} = i^{(k)} \cdot y^{(k)}$$

където: $i^{(k)}$ е предавателна функция ($i^{(k)} = K_{M1}^{(k)} \cdot K_D^{(k)}$); $K_{M1}^{(k)}$ - мащабен коефициент на отчитане (за ПМП с форма на греда $K_{M1}^{(k)} = 1/2 \cdot 1/1$); $1/1$ и $1/2$ са дължини на участъци от ПМП; коефициентът $K_D^{(k)}$ характеризира деформационните параметри на ПМП и зависи [50, 74] от конфигурацията на ПМП, неговото сечение, вида на материала и други. (За недеформируеми ПМП приемаме $K_D^{(k)} = 1$).

Преместването $\bar{y}^{(k)}$ ще бъде отчетено от УИМП или УИД като $\bar{y}_0^{(k)}$

$$(2.2.) \quad \bar{y}_0^{(k)} = i_0^{(k)} \cdot \bar{y}^{(k)}$$

където: предавателната функция $i_0^{(k)}$ зависи от вида на използваното отчетно устройство.

Отклоненията на отделните параметри на СИ₁, включващо ПМП и СИ (УИМП или УИД) от номиналните им стойности поражат грешка при отчитането. Тогава отчетената стойност $\tilde{y}_0^{(k)}$ ще се различава от вярно отчетената стойност $\bar{y}_0^{(k)}$ на физичната величина $y^{(k)}$

$$(2.3.) \quad \tilde{y}_0^{(k)} = \bar{y}_0^{(k)} + \Delta \bar{y}_0^{(k)}$$

Стойността на грешката $\Delta \bar{y}_0$ може да се определи като се вземат предвид вариациите на стойностите на y, i и i_0 при наличие на отклонения в параметрите на СИ₁.

$$(2.4.) \quad \tilde{y}_0 = (y + \delta y) (i_0 + \delta i_0) (i + \delta i)$$

По диференциалния метод на Бруевич вариациите се разглеждат като безкрайно малки от първи ред с размерност $O(h)$. Като се пренебрегнат членовете с размерност $O(h)^2$ и се премине към крайни разлики от (2.4.) за $\Delta y_0^{(k)}$ се получава:

$$(2.5.) \quad \Delta \bar{y}_0^{(k)} = \Delta y^{(k)} \cdot i^{(k)} \cdot i_0^{(k)} + \Delta i^{(k)} \cdot i^{(k)} \cdot y^{(k)} + \Delta i_0^{(k)} \cdot i^{(k)} \cdot y^{(k)}$$

В (2.5.) $\Delta y^{(k)} \cdot i^{(k)} \cdot i_0^{(k)}$; $\Delta i^{(k)} \cdot i^{(k)} \cdot y^{(k)}$ и

$$\Delta i_0^{(k)} \cdot i^{(k)} \cdot y^{(k)} \text{ са}$$

отделни съставлящи на крайната грешка от измерване, предизвикани, съответно от грешката $\Delta y^{(k)}$ в преместването или деформацията $y^{(k)}$, породена от отклонения в измерваната величина $x^{(k)}$, предизвикани от външни влияещи фактори; грешката $\Delta i^{(k)}$ в предавателната функция на ПМП и грешката $\Delta i_0^{(k)}$ в предавателната функция на СИ (УИМП, УИД).

Пълно компенсиране на грешката $\Delta \bar{y}_0^{(k)}$ може да се постигне чрез допълнително механично преместване или деформация на ПМП, например в т.Б, когато

$$(2.6.) \quad \Delta \bar{y}_0^{(k)} + \bar{y}_{од}^{(k)} = 0$$

Тук с $\bar{y}_{\text{од}}^{(k)}$ е означена отчетената стойност (преместване или деформация) на $\bar{y}_\text{д}^{(k)}$ в т.Б. Тя може да се изрази чрез преместване $y_\text{д}^{(k)}$ в т.В на ПМП с помощта на зависимостта

$$(2.7.) \quad \bar{y}_{\text{од}}^{(k)} = i_\text{д}^{(k)} \cdot i_\text{о}^{(k)} \cdot y_\text{д}^{(k)}$$

където: $i_\text{д}^{(k)}$ е предавателна функция ($i_\text{д}^{(k)} = K_{\text{м2}}^{(k)} \cdot K_\text{д}^{(k)}$);

$K_{\text{м2}}^{(k)}$ - мащабен коефициент на отчитане (за ПМП с форма на греда - $K_{\text{м2}}^{(k)} = 1_2 \cdot 1_3^{-1}$)

От (2.5.) ÷ (2.7.) следва:

$$(2.8.) \quad \bar{y}_{\text{од}}^{(k)} = \Delta y^{(k)} \frac{i_\text{д}^{(k)}}{i_\text{д}^{(k)}} + \Delta i_\text{д}^{(k)} \frac{y^{(k)}}{i_\text{д}^{(k)}} + \Delta i_\text{о}^{(k)} \frac{y^{(k)}}{i_\text{д}^{(k)} \cdot i_\text{о}^{(k)}}$$

В зависимост от вида на ПМП:

$$(2.9.) \quad \bar{y}_{\text{од}}^{(k)} = \begin{cases} \Delta y^{(k)} \frac{1_3}{1_1} + \Delta i_\text{д}^{(k)} \frac{y^{(k)} \cdot 1_3}{1_2} + \Delta i_\text{о}^{(k)} \frac{y^{(k)} \cdot 1_3}{1_1 \cdot i_\text{о}^{(k)}} \text{ за НДПМП,} \\ \Delta y^{(k)} \frac{1_3}{1_1} + \Delta i_\text{д}^{(k)} \frac{y^{(k)} \cdot 1_3}{1_2 \cdot K_\text{д}^{(k)}} + \Delta i_\text{о}^{(k)} \frac{y^{(k)} \cdot 1_3}{1_1 \cdot i_\text{о}^{(k)}} \text{ за ЕДПМП,} \end{cases}$$

Следователно, може да се избере подходящо изменение на предавателната функция на ПМП така, че да се компенсират грешките в измервателната верига на СИ₁. В [59] е описано устройство, а в [84] са проведени експериментални изследвания, доказващи приложимостта на такъв подход за повишаване точността на измервателните станции на контролно-сортиращ автомат.

Непълното компенсиране на грешките на СИ може да се разглежда като грешка $\Delta \bar{y}_{\text{од}}^{(k)}$ на допълнителното въздействие в коригиращата верига.

В този случай ще бъде отчетена стойност $\bar{y}_\text{о}^{(k)}$ различна от $\bar{y}_{\text{о1}}^{(k)}$, като относителната грешка $\delta_\text{о}^{(k)}$ на отчет на измервателното устройство 2 (фиг.2-1) ще се определи, както следва:

$$(2.10.) \quad \bar{\delta}_o^{(k)} = \frac{\bar{y}_o^{(k)} - \bar{y}_o^{(k)}}{\bar{y}_o^{(k)}} = \frac{\Delta \bar{y}_{од}^{(k)}}{\bar{y}_o^{(k)}} = \frac{\Delta \bar{y}_д^{(k)} \cdot \bar{1}_д^{(k)} \cdot \bar{1}_o^{(k)}}{\bar{y}_o^{(k)}}$$

където: $\bar{y}_o^{(k)} = \bar{y}_o^{(k)} + \Delta \bar{y}_{од}^{(k)}$.

Относителната грешка $\bar{\delta}_{од}^{(k)}$ на отчет на веригата за допълнително въздействие върху ПМП, включително въздействието на УРДВ върху ПМП се определя съгласно зависимостта:

$$\bar{\delta}_{од}^{(k)} = \frac{\Delta \bar{y}_{од}^{(k)}}{\bar{y}_{од}^{(k)}}$$

В този случай за отношението $\frac{|\bar{\delta}_{од}^{(k)}|}{|\bar{\delta}_o^{(k)}|}$ получаваме:

$$(2.11.) \quad \frac{|\bar{\delta}_{од}^{(k)}|}{|\bar{\delta}_o^{(k)}|} = \frac{|\Delta \bar{y}_{од}^{(k)}| \cdot |\bar{y}_o^{(k)}|}{|\bar{y}_{од}^{(k)}| \cdot |\Delta \bar{y}_{од}^{(k)}|} = \frac{|\bar{y}_o^{(k)}|}{|\bar{y}_{од}^{(k)}|}$$

или след преобразуване, като се вземе в предвид (2.6.) получаваме:

$$(2.12.) \quad |\bar{\delta}_{од}^{(k)}| = |\bar{\delta}_o^{(k)}| \frac{|\bar{y}_o^{(k)}|}{|\Delta \bar{y}_o^{(k)}|}$$

За осигуряване на висока точност, ефективност и минимални енергийни разходи при увеличена продължителност на процеса на компенсация е необходимо $|\bar{\delta}_{од}^{(k)}| \gg |\bar{\delta}_o^{(k)}|$. Неравенството реално може да бъде изпълнено, тъй като множеството на параметрите определящи функциите на преобразуване на компенсиращите устройство и множеството от параметрите на функциите на грешките, които възникват в ПМП и УИМП (УИД) и $X^{(k)}$ нямат сечение. Следователно, могат да бъдат подбрани такива стойности на параметрите на компенсиращите устройства, за които горното неравенство винаги да бъде в сила. Особено добри възможности за това предлага ЕДПМП, при който вероятността за намиране на оптимално решение за компенсация се увеличава при допълнителното изменение на $K_{m1}^{(k)}$ и $K_{m2}^{(k)}$.

Следствие от неравенството $|\bar{\delta}_{\text{од}}^{(k)}| \gg |\bar{\delta}_0^{(k)}|$ е възможността за намаляване на точностните изисквания към елементите, използвани за изграждане на компенсиращите вериги.

Тъй като $|\bar{y}_{\text{од}}^{(k)}|$ е от порядъка на $|\Delta \bar{y}_0^{(k)}| \ll |\bar{y}_0^{(k)}|$, то от (2.11.) следва, че

$$(2.13.) \quad \frac{|\bar{\delta}_{\text{од}}^{(k)}|}{|\bar{\delta}_0^{(k)}|} = \frac{|\bar{y}_0^{(k)}|}{|\bar{y}_{\text{од}}^{(k)}|} \gg 1 \quad \text{или:} \quad |\bar{\delta}_{\text{од}}^{(k)}| \gg |\bar{\delta}_0^{(k)}|$$

В тази връзка, методът за температурна компенсация, разгледан в [50] и анализиран чрез използване на аналогичен по схемно решение преобразувател за измерване на сила, е частен случай на вече изложения метод за компенсация. В тази работа температурната грешка на ПМП $-\Delta y$ се определя при $i_3 = i_1$; $\Delta X = 0$ и $\Delta y_0 = 0$. Доказва се, че за осигуряване на $\delta_x = 0,01\%$ е достатъчно $\delta_d = 3,3\%$.

Ако се приеме, че $\Delta y^{(k)}$; $\Delta i^{(k)}$ и $\Delta i_0^{(k)}$ са систематични грешки, означени съответно $\Delta y_c^{(k)}$; $\Delta i_c^{(k)}$ и $\Delta i_{\text{ос}}^{(k)}$, то те могат да бъдат минимизирани чрез прилагане на МДФИС.

Тъй като преобразувателните функции на СИ се определят от предавателните функции $i_0^{(k)}$, $i^{(k)}$ и $i_d^{(k)}$, зависимостта (2.8.) за допълнителното въздействие придобива вида:

$$(2.14.) \quad y_{\text{одс}}^{(k)} = \Delta y_c^{(k)} \frac{i^{(k)}}{i_d^{(k)}} + \Delta i_c \frac{y^{(k)}}{i^{(k)}} + \Delta i_{\text{ос}}^{(k)} \frac{y^{(k)} \cdot i^{(k)}}{i_d^{(k)} \cdot i_0^{(k)}}$$

От аналогични съображения и в този случай следва да се осигури изпълнението на условието $\bar{\delta}_{\text{сд}}^{(k)} > \bar{\delta}_c^{(k)}$.

Измервателният обхват на СИ₁, т.е. диапазонът от стойности $y^{(k)}$ на измерваната физична величина, преобразувани от ПМП и регистрирани от СИ (УИМП, УИД) като механично преместване на т.Б от ПМП (или деформация на неговото сечение в същата точка) и стойността "C^(k)" на скално деление на СИ в съответствие с (2.1.) могат да бъдат определени със зависи-

мостите:

$$(2.15.) \quad D^{(K)} = \frac{d^{(K)}}{i^{(K)}} \quad \left\{ \begin{matrix} K \\ K \end{matrix} \right\}$$

$$(2.16.) \quad C^{(K)} = \frac{D^{(K)}}{m^{(K)}}$$

където: $d^{(K)}$ - измервателен обхват на УИМП (УИД) при измерване на механично преместване или деформация; $m^{(K)}$ - брой скални деления на УИМП (УИД).

В случай, че към ПМП в т.В (фиг.2-1) бъде приложено допълнително въздействие $\pm X_D^{(K)}$ с диапазон на изменение $D_D^{(K)}$, за сумарния измервателен обхват $d_\Sigma^{(K)}$ на СИ при измерване на механично преместване или деформация, получаваме:

$$(2.17.) \quad d_\Sigma^{(K)} = D^{(K)} \cdot i^{(K)} \pm D_D^{(K)} \cdot i_D^{(K)}$$

От (2.15) и (2.17) следва, че след прилагане на $X_D^{(K)}$ за диапазон от стойности $D_\Sigma^{(K)}$ на преобразуваната от ПМП физична величина, които могат да се регистрират от УИМП (УИД) получаваме:

$$(2.18) \quad D_\Sigma^{(K)} = D^{(K)} \pm \frac{D_D^{(K)} \cdot i_D^{(K)}}{i^{(K)}}$$

Съгласно (2.16) и (2.18) в зависимост от броя на скални деления $m_D^{(K)}$ на СИ, използвани при измерването, стойността $C_D^{(K)}$ на едно скално деление след прилагане на $X_D^{(K)}$ може да бъде равна или различна от $C^{(K)}$.

В случаите, когато е необходимо да бъде осигурено условието: $C_D^{(K)} = C^{(K)}$, при което се запазва първоначалната (преди прилагане на $X_D^{(K)}$) грешка на отчет, за броя на скални деления $m_D^{(K)}$ необходими за отчитане стойността на $X^{(K)}$ след прилагане на $X_D^{(K)}$ получаваме:

$$(2.19) \quad C_D^{(K)} = \frac{D_\Sigma^{(K)}}{m_D^{(K)}}$$

и след заместване на (2.16) и (2.18) в (2.19)

$$\frac{D^{(K)}}{m^{(K)}} = \frac{D^{(K)} \pm \frac{D_D^{(K)} \cdot i_D^{(K)}}{i^{(K)}}}{\frac{m_D^{(K)}}{D}}$$

или:

$$(2.20) \quad m_D^{(k)} = m \pm \frac{D_D^{(k)} \cdot i_D^{(k)}}{i^{(k)} \cdot C^{(k)}}$$

Очевидно е, че в зависимост от стойностите на $D_D^{(k)}$ и $i_D^{(k)}$ могат да бъдат получавани различни варианти на измерване на $X^{(k)}$, при които $m_D^{(k)} = m^{(k)}$ или $m_D^{(k)} \neq m^{(k)}$.

Когато условието $C_D^{(k)} = C^{(k)}$ не следва да бъде осигурено, то в този случай:

$$C_D^{(k)} \neq \frac{D_D^{(k)}}{m^{(k)}} \text{ и } m_D^{(k)} \neq m^{(k)} \pm \frac{D_D^{(k)} \cdot i_D^{(k)}}{i^{(k)} \cdot C^{(k)}}$$

В зависимост от стойностите на $D_D^{(k)}$ и $i_D^{(k)}$, а така също от характера на изменение на $X_D^{(k)}$ ($= \text{const}$ или $\neq \text{varia}$) също са възможни варианти, при които $m_D^{(k)} = m^{(k)}$ и $m_D^{(k)} \neq m^{(k)}$. Тези съображения, както и зависимостите (2.17 ÷ 2.20) показват, че са възможни измервателни схеми на СИ, включващи специализирани или универсални УИМП (УИД), при които се променят измервателният обхват, стойността на скално деление или броят на скалните деления при измерване на физичната величина $X^{(k)}$.

Така за устройства с ПМП предлаганият метод позволява:

- да се компенсират грешки в СИ, предизвикани от действието на външни влияещи (дестабилизиращи) фактори и външни източници;

- да се увеличава или намалява стойността " $C^{(k)}$ " на едно скално деление и измервателният обхват " $D_\Sigma^{(k)}$ " на преобразувателя ($СИ_1$), който включва ПМП и СИ в зависимост от знака и значението на $X_D^{(k)}$.

Сгласно фиг.2-1, в табл.2.1. са представени обобщени варианти за прилагане на предварително определено допълнително въздействие $X_D^{(k)}$ върху ПМП при измерване на механични пре-

ОБОБЩЕНИ ВАРИАНТИ ЗА ПРИЛАГАНЕ НА ПРЕДВАРИТЕЛНО
ОПРЕДЕЛЕНО ДОПЪЛНИТЕЛНО ВЪЗДЕЙСТВИЕ ВЪРХУ НДИМП

Табл.2.1.

ВАРИАНТ	В Е Л И Ч И Н И						Фиг.
	$d_{\Sigma}^{(k)}$	$x_D^{(k)}$	1_3	$D_{\Sigma}^{(k)}$	$C_D^{(k)}$	$m_D^{(k)}$	
1		--const	=1 ₁	$>D^{(k)} = \text{const}$	$= C^{(k)} = \text{const}$	$= m^{(k)}$	2-2
2			<1 ₁	$>D^{(k)} = \text{const}$	$= C^{(k)} = \text{const}$	$= m^{(k)}$	
3			>1 ₁	$\wedge D^{(k)} = \text{const}$	$= C^{(k)} = \text{const}$	$= m^{(k)}$	
4	=	+const	=1 ₁	$<D^{(k)} = \text{const}$	$= C^{(k)} = \text{const}$	$= m^{(k)}$	2-3
5			>1 ₁	$\wedge D^{(k)} = \text{const}$	$= C^{(k)} = \text{const}$	$= m^{(k)}$	
6			<1 ₁	$<D^{(k)} = \text{const}$	$= C^{(k)} = \text{const}$	$= m^{(k)}$	
7		--varia	=1 ₁	$>D^{(k)} = D^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$\wedge C^{(k)} = C^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$= m^{(k)}$	2-4
8			<1 ₁	$>D^{(k)} = D^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$\wedge C^{(k)} = C^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$= m^{(k)}$	
9			>1 ₁	$\wedge D^{(k)} = D^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$\wedge C^{(k)} = C^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$= m^{(k)}$	
10		+varia	=1 ₁	$<D^{(k)} = D^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$\wedge C^{(k)} = C^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$= m^{(k)}$	2-5
11			>1 ₁	$>D^{(k)} = D^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$\wedge C^{(k)} = C^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$= m^{(k)}$	
12			<1 ₁	$<D^{(k)} = D^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$\wedge C^{(k)} = C^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$= m^{(k)}$	
13	<	--const	=1 ₁	$\wedge D^{(k)} = \text{const}$	$= C^{(k)} = \text{const}$	$< m^{(k)}$	2-6
14			<1 ₁	$\wedge D^{(k)} = \text{const}$	$= C^{(k)} = \text{const}$	$< m^{(k)}$	
15			>1 ₁	$\wedge D^{(k)} = \text{const}$	$= C^{(k)} = \text{const}$	$< m^{(k)}$	
16	<	+const	=1 ₁	$\wedge D^{(k)} = \text{const}$	$= C^{(k)} = \text{const}$	$< m^{(k)}$	2-7
17			>1 ₁	$\wedge D^{(k)} = \text{const}$	$= C^{(k)} = \text{const}$	$< m^{(k)}$	
18			<1 ₁	$\wedge D^{(k)} = \text{const}$	$= C^{(k)} = \text{const}$	$< m^{(k)}$	
19		--varia	=1 ₁	$>D^{(k)} = D^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$\wedge C^{(k)} = C^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$< m^{(k)}$	2-8
20			<1 ₁	$>D^{(k)} = D^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$\wedge C^{(k)} = C^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$< m^{(k)}$	
21			>1 ₁	$\wedge D^{(k)} = D^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$\wedge C^{(k)} = C^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$< m^{(k)}$	
22		+varia	=1 ₁	$<D^{(k)} = D^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$\wedge C^{(k)} = C^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$< m^{(k)}$	2-9
23			>1 ₁	$>D^{(k)} = D^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$\wedge C^{(k)} = C^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$< m^{(k)}$	
24			<1 ₁	$<D^{(k)} = D^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$\wedge C^{(k)} = C^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$< m^{(k)}$	
25	>	--const	=1 ₁	$>D^{(k)} = \text{const}$	$= C^{(k)} = \text{const}$	$> m^{(k)}$	2-10
26			<1 ₁	$>D^{(k)} = \text{const}$	$= C^{(k)} = \text{const}$	$> m^{(k)}$	
27			>1 ₁	$\wedge D^{(k)} = \text{const}$	$= C^{(k)} = \text{const}$	$> m^{(k)}$	
28	>	+const	=1 ₁	$\wedge D^{(k)} = \text{const}$	$= C^{(k)} = \text{const}$	$> m^{(k)}$	2-11
29			>1 ₁	$\wedge D^{(k)} = \text{const}$	$= C^{(k)} = \text{const}$	$> m^{(k)}$	
30			<1 ₁	$\wedge D^{(k)} = \text{const}$	$= C^{(k)} = \text{const}$	$> m^{(k)}$	
31		--varia	=1 ₁	$>D^{(k)} = D^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$\wedge C^{(k)} = C^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$> m^{(k)}$	2-12
32			<1 ₁	$>D^{(k)} = D^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$\wedge C^{(k)} = C^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$> m^{(k)}$	
33			>1 ₁	$\wedge D^{(k)} = D^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$\wedge C^{(k)} = C^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$> m^{(k)}$	
34		+varia	=1 ₁	$<D^{(k)} = D^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$\wedge C^{(k)} = C^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$> m^{(k)}$	2-13
35			>1 ₁	$>D^{(k)} = D^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$\wedge C^{(k)} = C^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$> m^{(k)}$	
36			<1 ₁	$<D^{(k)} = D^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$\wedge C^{(k)} = C^{(k)}(X_D^{(k)}) = \text{varia const}$	$> m^{(k)}$	
1	2	3	4	5	6	7	8

мествания и сили. Те са разработени за случая, когато 1_1 , 1_2 , $K_{M1}^{(k)}$ и $K_D^{(k)}$ са постоянни.

Представените крайни резултати за $C_D^{(k)}$ и $D_\Sigma^{(k)}$ характеризират възможностите на метода за разглеждания тип измервателни преобразуватели. Допустимите комбинации, чиито общ брой е 36, се подразделят на 3 основни групи (3×12), удовлетворяващи (вж. колонка 2) равенството $d_\Sigma^{(k)} = d^{(k)}$ или неравенствата $d_\Sigma^{(k)} < d^{(k)}$ и $d_\Sigma^{(k)} > d^{(k)}$.

Тези комбинации регламентират пълно, непълно или неколккратно използване на измервателния обхват на УИМП или УИД, като последния случай се реализира съгласно фиг. 2-16 или 2-17.

Всяка група включва 4 подгрупи по 3 комбинации, съобразно характера на изменение на $X_D^{(k)}$ ($= +const$; $= -const$; $= +varia$; $= -varia$) спрямо измерваната физична величина $X^{(k)}$ (колонка 3). Означението $+const$ ($+varia$) или $-const$ ($-varia$) означава, че се прилагат еднакви по абсолютни значения постоянни или променливи въздействия, но с противоположен знак.

Отделните комбинации са разработени при различни мащабни коефициенти за прилагане на $X_D^{(k)}$ спрямо $X^{(k)}$, удовлетворяващи (колонка 4) равенството $1_3 = 1_1$ или неравенствата $1_3 < 1_1$ и $1_3 > 1_1$.

В колонки 5, 6 и 7 са представени стойностите на $C_D^{(k)}$, $D_\Sigma^{(k)}$ и $m_D^{(k)}$, характера на тяхното изменение (в зависимост от определени значения на " $d_0^{(k)}$ ", $X_D^{(k)}$ и 1_3).

Разработените обобщени варианти и получените резултати за $C_D^{(k)}$, $D_\Sigma^{(k)}$ и $m_D^{(k)}$ обхващат измерване на механични премествания и сили чрез ЕДМП и само на сили чрез НДМП. При измерване на механични премествания чрез НДМП $X_D^{(k)}$ и $X^{(k)}$

са линейно зависими и възможните реализации имат строго индивидуални преобразователни характеристики, които не се поддават на обобщаване. От друга страна, НДПМП с фиксирани мащабни коефициенти, използван за измерване на сили, е удобен за анализ и нагледно представяне на възможностите на метода.

В колонка 8 са посочени номерата на фигурите, на които графично са изразени различните варианти, като са въведени следните допълнителни означения:

$u^{(2)}$ - основна преобразователна характеристика на НДПМП при $X_{hd1}^{(2)} = 0$;

$D_d^{(2)}$ - измервателен обхват на преобразователя (НДПМП+УИМП) или (УИД-СИ) при $X^{(2)} = 0$;

$d_{hd1}^{(2)}$ - измервателен обхват на СИ при $X^{(2)} = 0$;

$D_{1\Sigma}^{(2)}, D_{2\Sigma}^{(2)} \dots D_{h\Sigma}^{(2)}$ - измервателни обхвати на преобразователя след прилагане на $X_{hd1}^{(2)}$. Броят итерации $D_{h\Sigma}^{(2)}$ зависи от отношението $D_{h\Sigma}^{(2)} = D_{h\Sigma}^{(2)}(X^{(2)}, X_{hd1}^{(2)})$;

$1d_1^{(2)}, 2d_1^{(2)}, \dots, hd_1^{(2)}$ - преобразователни характеристики на $X_{hd1}^{(2)}$;

$D_{1d1}^{(2)}, D_{2d1}^{(2)}, \dots, D_{hd1}^{(2)}$ - измервателни обхвати на преобразователя при $X_{hd1}^{(2)} \neq 0$ и $X^{(2)} = 0$;

$u_{1d1}^{(2)}, u_{2d1}^{(2)}, \dots, u_{hd1}^{(2)}$ - резултантни преобразователни характеристики на НДПМП, след прилагане на $X_{hd1}^{(2)}$;

$X_{hd1}^{(2)}$ - допълнително прилагано единично въздействие върху ПМП, ($h = 1, 2, \dots, N$);

За всеки вариант са представени примерни изходни зависимости " $u^{(2)}$ " на НДПМП при $X_{hd1}^{(2)} = 0$ и характера на примерни зависимости " $u_{hd1}^{(2)}$ " при $X_{hd1}^{(2)} \neq 0$ в координатна система (фиг.2-2 ÷ 2-13,а) $D_{h\Sigma}^{(2)} = D_{h\Sigma}^{(2)}(d_0)$.

В координатната система $D_{hdg}^{(2)} = D_{hdg}^{(2)}(d_{hdg}^{(2)})$ (фиг.2-2 ÷ 2-13,б) са представени примерни зависимости " $d_{d1}^{(2)}$ " на

$X_{h_{d1}}^{(2)}$ като техният характер е еднакъв за всяка подгрупа, представена с отделна фигура.

Всички варианти са разработени при една фиксирана стойност на l_3 , която може да бъде $= 1_1$ или $\neq 1_1$. (точка 1)

За вариантите представени на фиг.2-2; 2-6 и 2-10, върху примерните графични зависимости " $u_{h_{d1}}^{(2)}$ " и " $h_{d1}^{(2)}$ ", последователно са номерирани характерни точки (1, 2, 3, 4, 5 и 5 за $u_{h_{d1}}^{(2)}$ и 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 и 14 за $h_{d1}^{(2)}$), в които същите могат да променят двузначно своя характер.

В тази връзка прилагането на $X_{h_{d1}}^{(2)}$ ($= -const$) като еднократна стойност на физичната величина "сила" ($k = 2$), формирана от нерегулируема мярка, може да се реализира по два принципино различни начина:

- Чрез еднократно въздействие върху ПМП, при което на определено разстояние от него, предварително се фиксира нерегулируема мярка със зададена стойност. Тя започва да въздейства като $X_{h_{d1}}^{(2)}$ след изчерпване на хода на ПМП до мястото на контакт с мярката (т.2 и т.4 за $u_{h_{d1}}^{(2)}$ и т.7 и 11 за $h_{d1}^{(2)}$). При продължаващо въздействие на $X^{(2)}$ върху ПМП, характера на $u_{h_{d1}}^{(2)}$ ще се формира като резултат от взаимодействието с $h_{d1}^{(2)}$ по начин, аналогичен на вариантите за които $X_{h_{d1}}^{(2)} = varia$, без пълно отъждествяване физиката на двата процеса поради различните методи за тяхното реализиране ($u_{h_{d1}}^{(2)}$ се определя от правите между точки 2 и 5 или 4 и 6, а $h_{d1}^{(2)}$ от правите, ограничени от точки 7 и 9 или 11 и 13). При изчерпване обхвата на $X_{h_{d1}}^{(2)}$ (до т.5 или 6 за $u_{h_{d1}}^{(2)}$ и т.9 или 13 за $h_{d1}^{(2)}$) зависимостта $u_{h_{d1}}^{(2)}$ възстановява своя първоначален характер;

- Чрез еднократно пряко въздействие върху ПМП, при което $h_{d1}^{(2)}$ последователно преминава точки 7, 8, 9 и 10 и 11, 12, 13 и 14 (фиг.2-1,6). В този случай действието на $h_{d1}^{(2)}$ се

осъществява съгласно действието на резултантни преобразователни характеристики, последователно преминаващи през точки 2, 1, 5 и 4, 3, 6. Така, на практика се нарушава условието $m_D^{(2)} = m^{(2)}$, тъй като част от $m^{(2)}$ се използва неколккратно за допълнително отчитане на $X_{hD1}^{(2)}$.

И в този случай, след изчерпване стойността на нерегулируемата мярка $X_{hD1}^{(2)}$, резултантните преобразователни характеристики $v_{hD1}^{(2)}$ имат наклон, равен на наклона на основната характеристика " $v^{(2)}$ ".

За вариант 1 (Табл.2-1. при $1_3 = 1_1$), чрез СИ могат да бъдат измерени физични величини с максимални стойности:

$$D_{1\Sigma}^{(2)} = D^{(2)} + D_{1D1}^{(2)}; D_{2\Sigma}^{(2)} = D^{(2)} + D_{2D1}^{(2)} \text{ и т.н. или винаги } D_{h\Sigma}^{(2)} > D^{(2)}$$

При $1_3 < 1_1$ (вариант 2), съгласно 2.18:

$$D_{1\Sigma}^{(2)} = D^{(2)} + D_{1D1}^{(2)} \frac{i_{1D1}^{(2)}}{i^{(2)}}; D_{2\Sigma}^{(2)} = D^{(2)} + D_{2D1}^{(2)} \frac{i_{2D1}^{(2)}}{i^{(2)}} \text{ и т.н. или}$$

и тук винаги $D_{h\Sigma}^{(2)} > D^{(2)}$, при $C_D^{(2)} = C^{(2)}$ и $m_D^{(2)} = m^{(2)}$.

При $1_3 > 1_1$ (вариант 3), също както при варианти 1 и 2 винаги $D_{h\Sigma}^{(2)} > D^{(2)}$ при $C_D^{(2)} = C^{(2)}$ и $m_D^{(2)} = m^{(2)}$

За варианти 4, 5 и 6 ($X_{hD1}^{(2)} = +const$) фиг.2.3, след смяна на знака на допълнителното въздействие естествено е да се получат резултати, противоположни на разгледаните, а именно: $D_{h\Sigma}^{(2)} < D^{(2)}$ при $C_D^{(2)} = C^{(2)}$ и $m_D^{(2)} = m^{(2)}$.

При вариант 5 могат да бъдат създадени условия за измерване като посочените за варианти 25 ÷ 32, но при използване на ЕДПМШ, отчитайки казаното при анализа на вариант 3. В този случай $D_{h\Sigma}^{(2)} > D^{(2)}$ и $m_D^{(2)} > m^{(2)}$, тъй като част от скалните деления на СИ се използват неколккратно, съгласно фиг. 2-17.

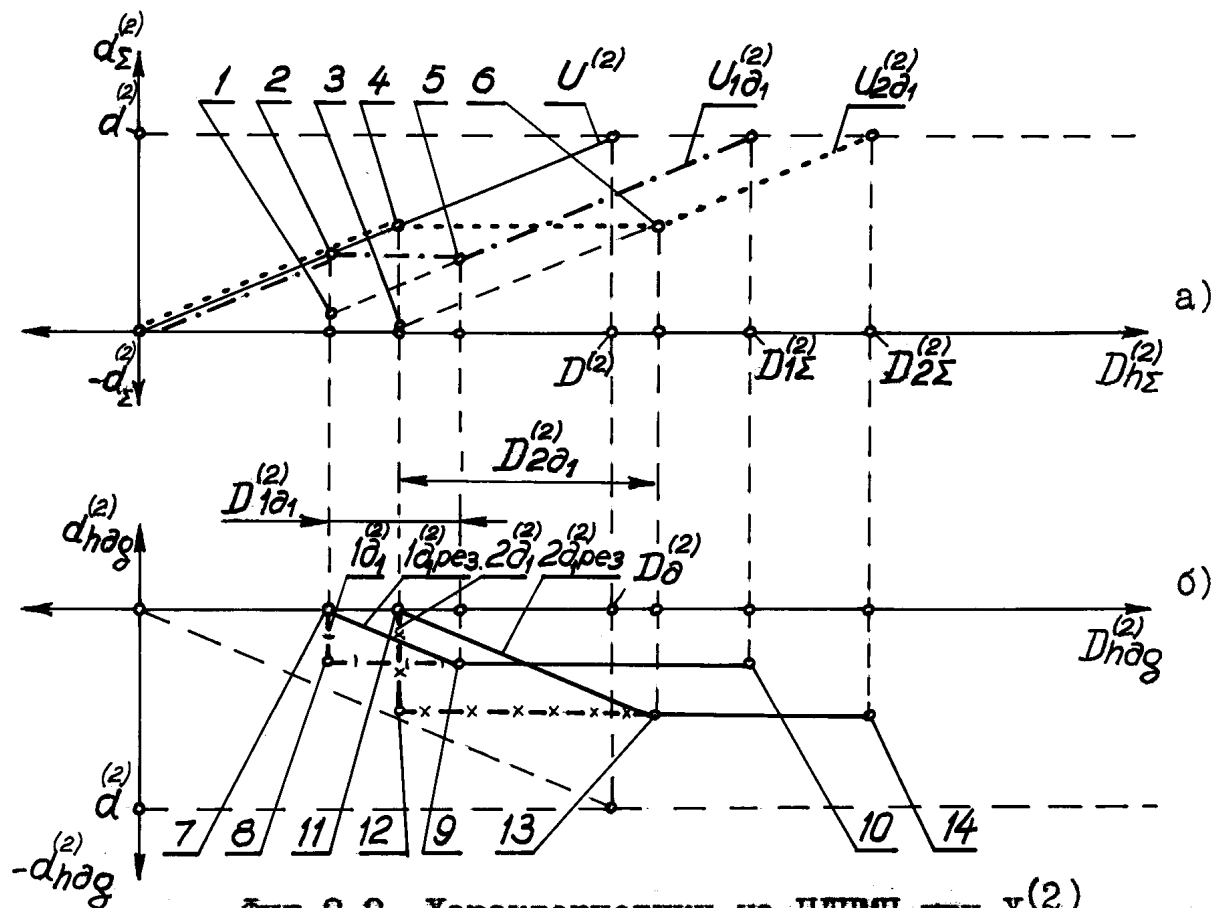
Забележка: За ЕДПМШ при $1_3 > 1_1$, поради наличие на еластична деформация на ПМШ под действие на $X_{hD1}^{(2)}$ се полу-

чава, че $d_{h\Sigma}^{(2)} < d^{(2)}$, тъй като в този случай СИ ще отчита и стойността на $x_{hd1}^{(2)}$, както при варианти 3, 4 и 5.

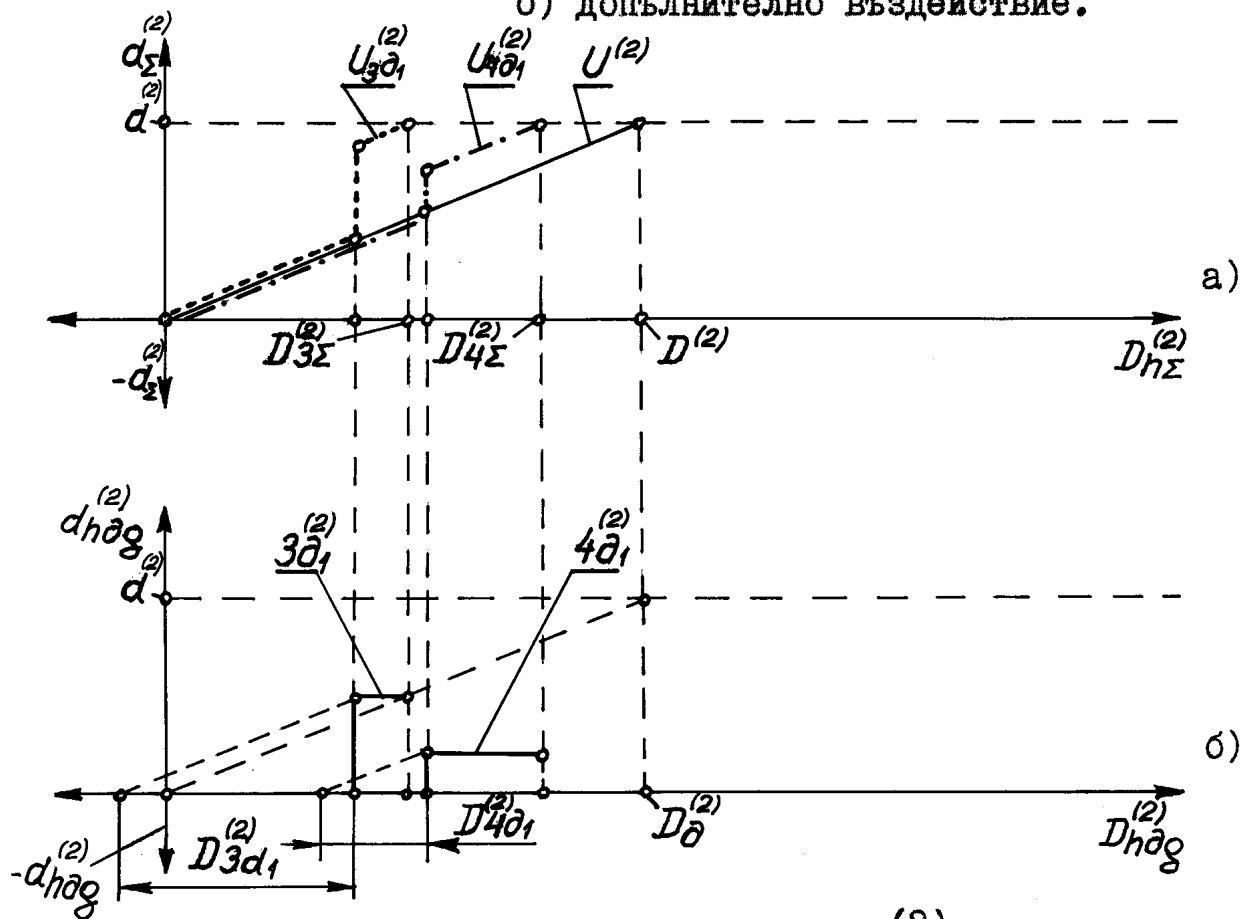
За варианти 7÷12 (фиг.2-4 и 2-5), общите съображения са същите като при варианти 1÷6. При ЕДИМІ за варианти 9 и 11, условията за измерване са като при варианти 3 и 5. Когато преобразователната характеристика $1_{d1}^{(2)}$ или $3_{d1}^{(2)}$ на $x_{hd1}^{(2)}$ е линейна (монотонно нарастваща или монотонно намаляваща) и действа непрекъснато до изчерпване обхвата " $d^{(2)}$ " на УИМП (УИД), се получава $c_d^{(2)} \neq c^{(2)}$, като $c_d^{(2)} = c_d^{(2)}(x_{hd1}^{(2)}) = \text{const}$. В случай, че действието на $x_{hd1}^{(2)}$ се прекрати до изчерпване обхвата " $d^{(2)}$ " на УИМП (УИД) или започне след началото на основното измерване ($2d_1^{(2)}$ и $4d_1^{(2)}$), тогава се получават две значения за $c_d^{(2)}$ ($c_d^{(2)} = c^{(2)}$ и $c_d^{(2)} \neq c^{(2)}$). При нелинейна преобразователна характеристика $h_{d1}^{(2)}$ се получава $c_d^{(2)} \neq c^{(2)}$ и $c_d^{(2)} = c_d^{(2)}(x_{hd1}^{(2)}) = \text{varia}$.

Варианти 13÷24 (фиг.2-6 ÷ 2-9) обхващат случаите, когато е необходимо използването на част от обхвата " $d^{(2)}$ " на УИМП (УИД) с максимална стойност " $d_{\Sigma 1}^{(2)}$ " = или $d_{\Sigma}^{(2)} = d_{\Sigma 1}^{(2)} < d^{(2)}$ по метрологични и експлоатационни съображения. Тук за варианти 17 и 23 ($1_3 > 1_1$) получените резултати за $d_{h\Sigma}^{(2)}$ съответствуват на тези за варианти 5, 9 и 11.

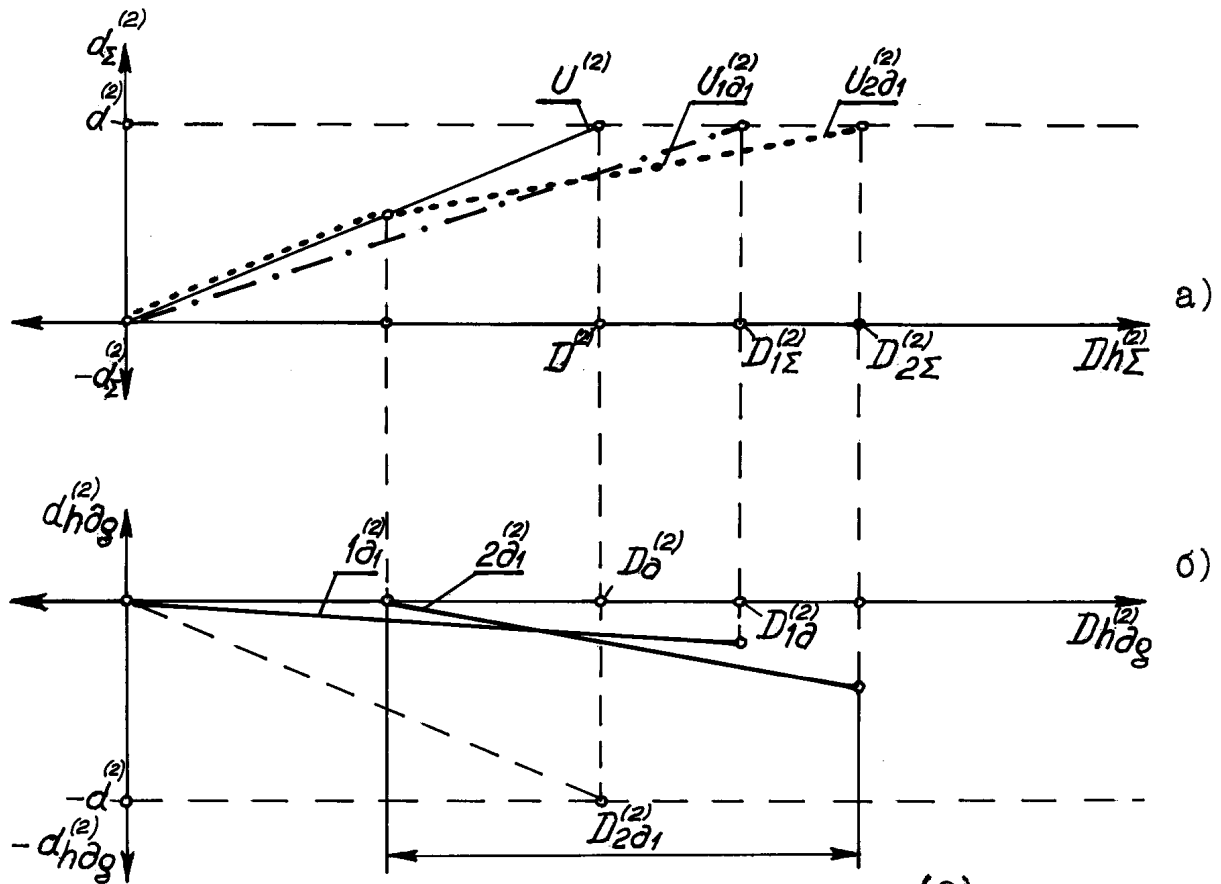
За измервания, при които $d_{\Sigma}^{(2)} = d_{\Sigma 2}^{(2)} > d^{(2)}$ (варианти 25÷32) без увеличаване на $c_d^{(2)}$ е необходимо, отчитайки съображенията за вариант 5, осигуряване на многократно използване на измервателния обхват " $d^{(2)}$ " на СИ. В този случай процесът на измерване протича съгласно фиг.2-17, чрез непрекъснати последователни измервания, извършвани при прав и обратен ход на СИ. Обратният ход се реализира под действие на $x_{hd1}^{(2)}$ или чрез подходящо схемно конструктивно решение на преобразователя. Когато измервателния процес се извършва по начина, показан на фиг.2-18, обратният ход на СИ е неработен и се равнява на $x_{hd1}^{(k)}$. Получените резултати за $d_{h\Sigma}^{(2)}$ са представени в графичен вид на фиг.2-10 ÷ 2-13.



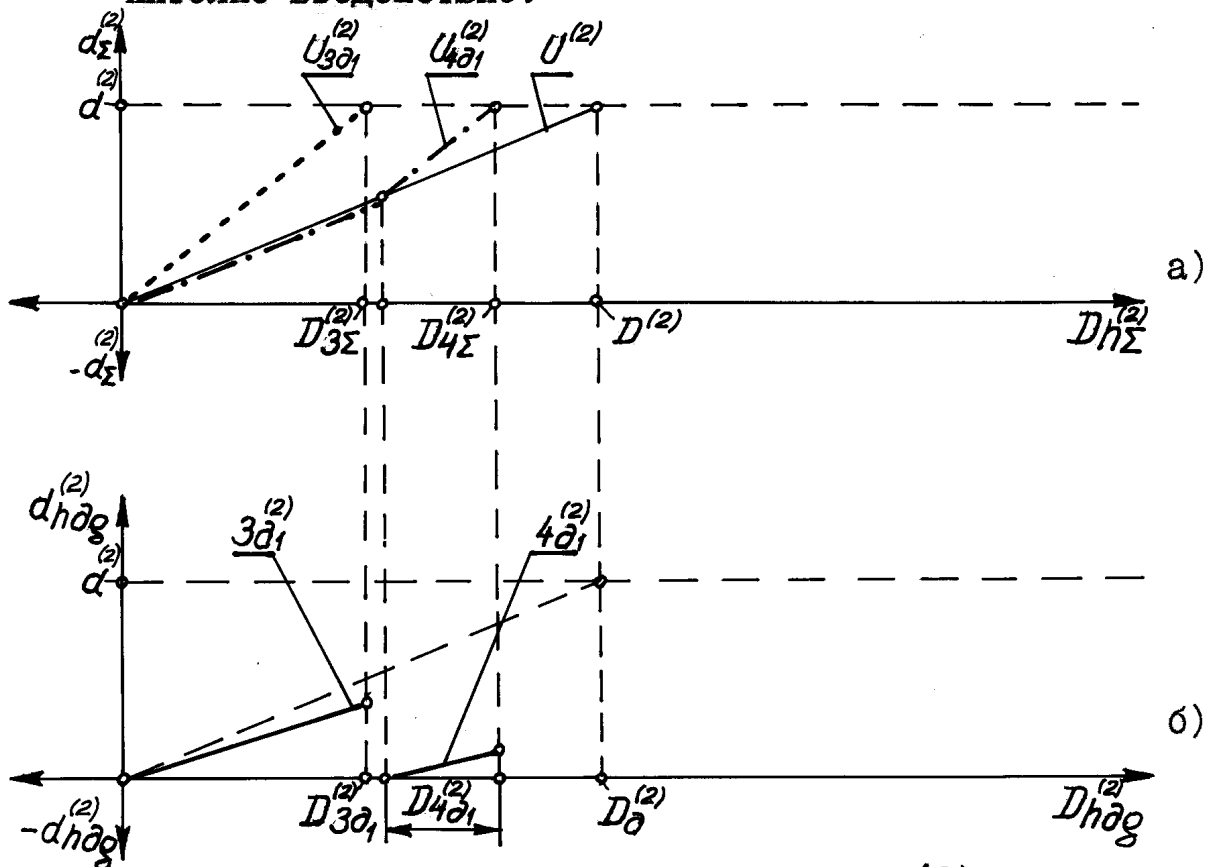
Фиг.2-2. Характеристики на НДМП при $\chi_{нд1}^{(2)} = -const$ и $d_{\Sigma} = d^{(2)}$ а) резултанти преобразуватели; б) допълнително въздействие.



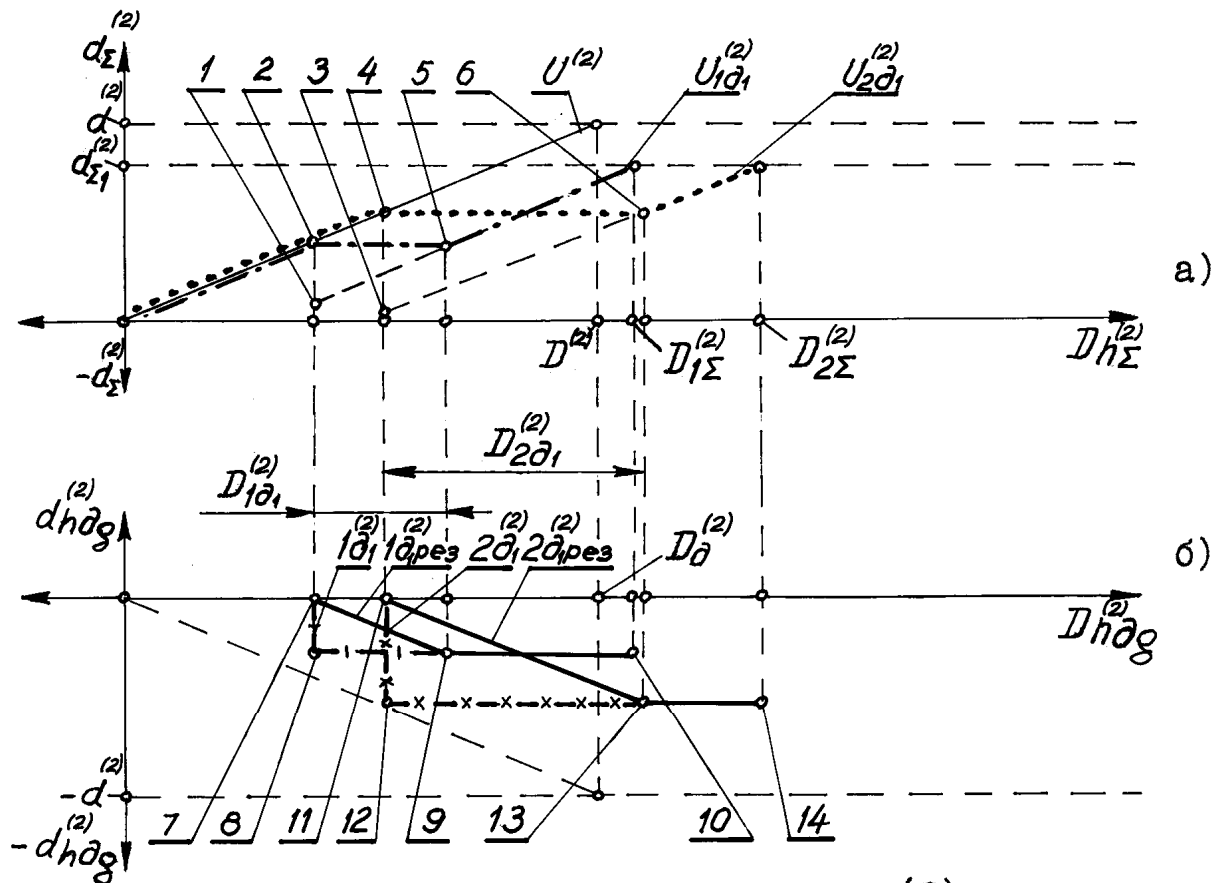
Фиг.2-3. Характеристики на НДМП при $\chi_{нд1}^{(2)} = +const$ и $d_{\Sigma} = d^{(2)}$ а) резултанти преобразуватели; б) допълнително въздействие.



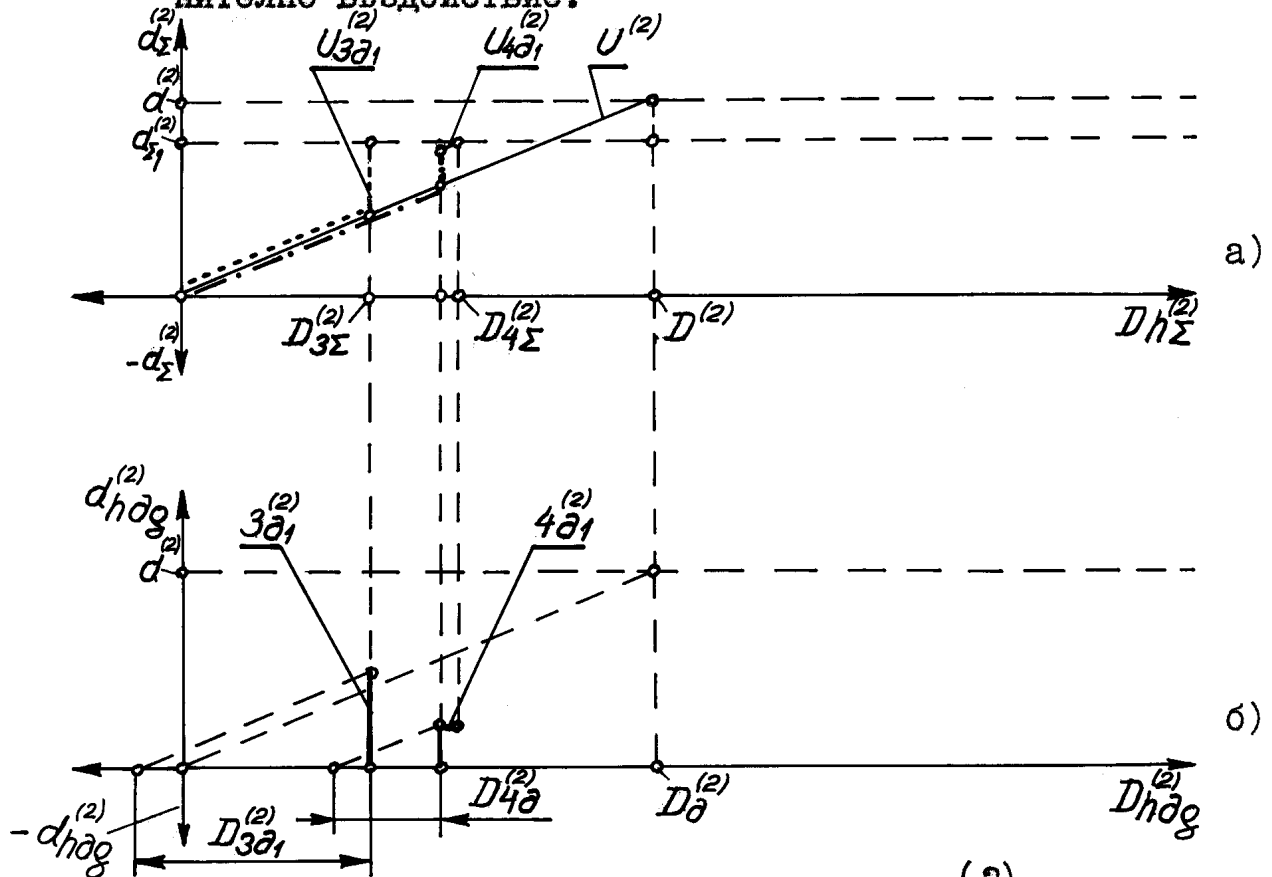
Фиг.2-4. Характеристики на НДІМІ при $\chi_{нд1}^{(2)} = -\text{varia}$ и $d_{\Sigma}^{(2)} = d^{(2)}$ а) резултантни преобразуватели; б) допълнително въздействие.



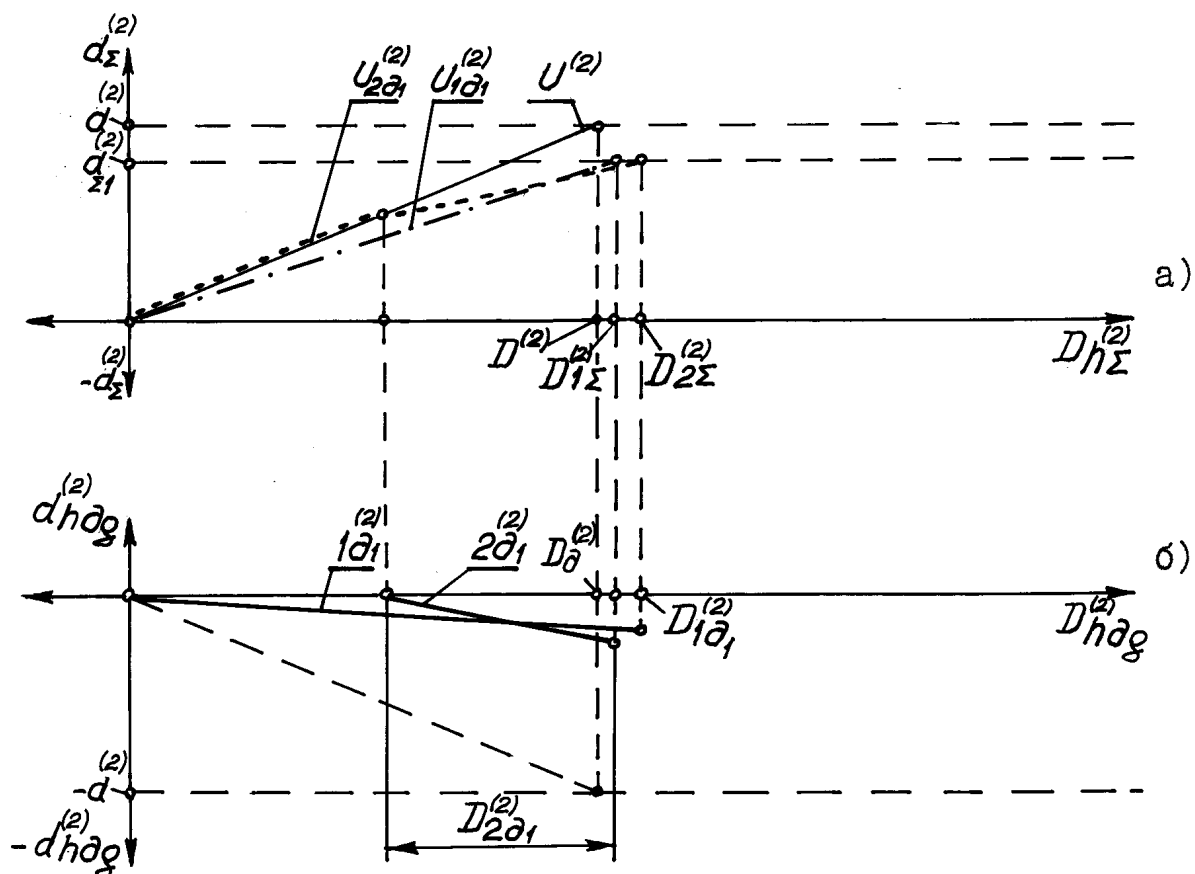
Фиг.2-5. Характеристики на НДІМІ при $\chi_{нд1}^{(2)} = +\text{varia}$ и $d_{\Sigma}^{(2)} = d^{(2)}$ а) резултантни преобразуватели; б) допълнително въздействие.



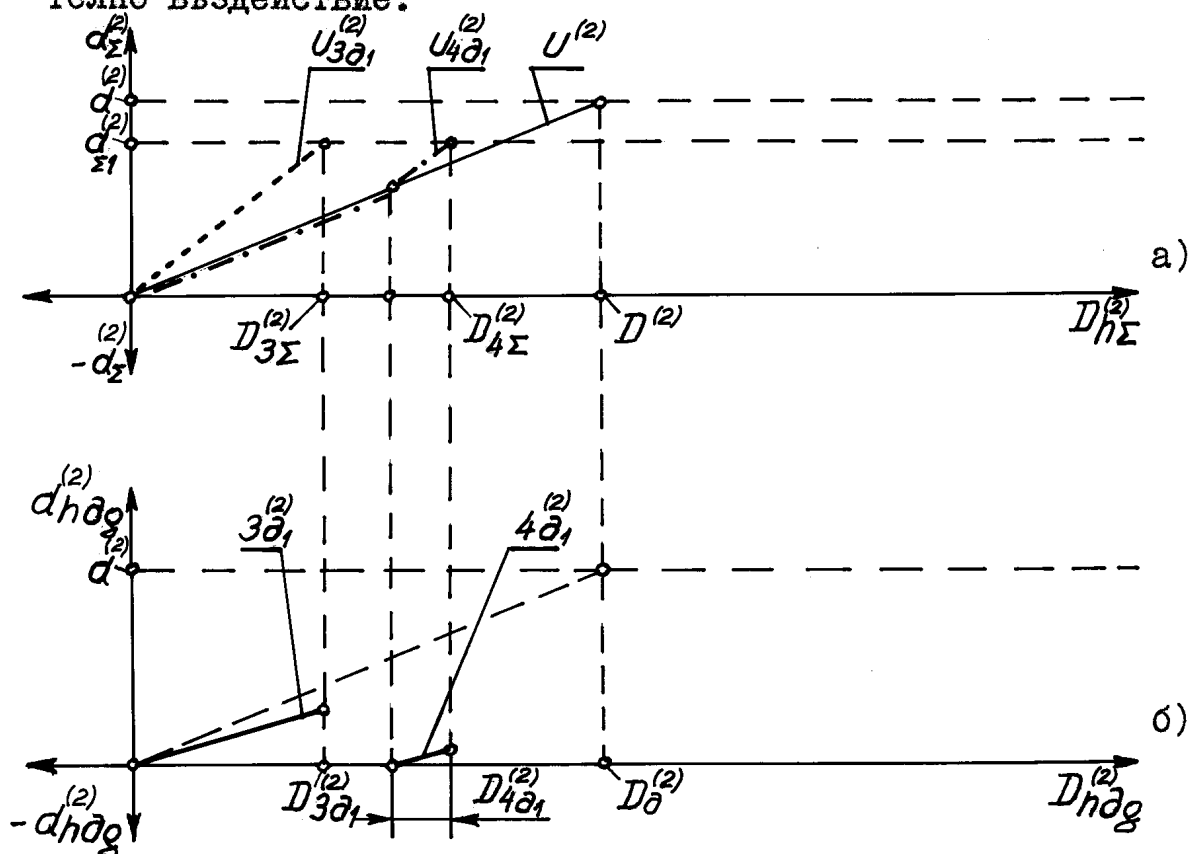
Фиг.2-6. Характеристики на НДПМІ при $\chi_{нд1}^{(2)} = -const$ и $d_{\Sigma}^{(2)} < d^{(2)}$ а) резултантни преобразувателни; б) допълнително въздействие.



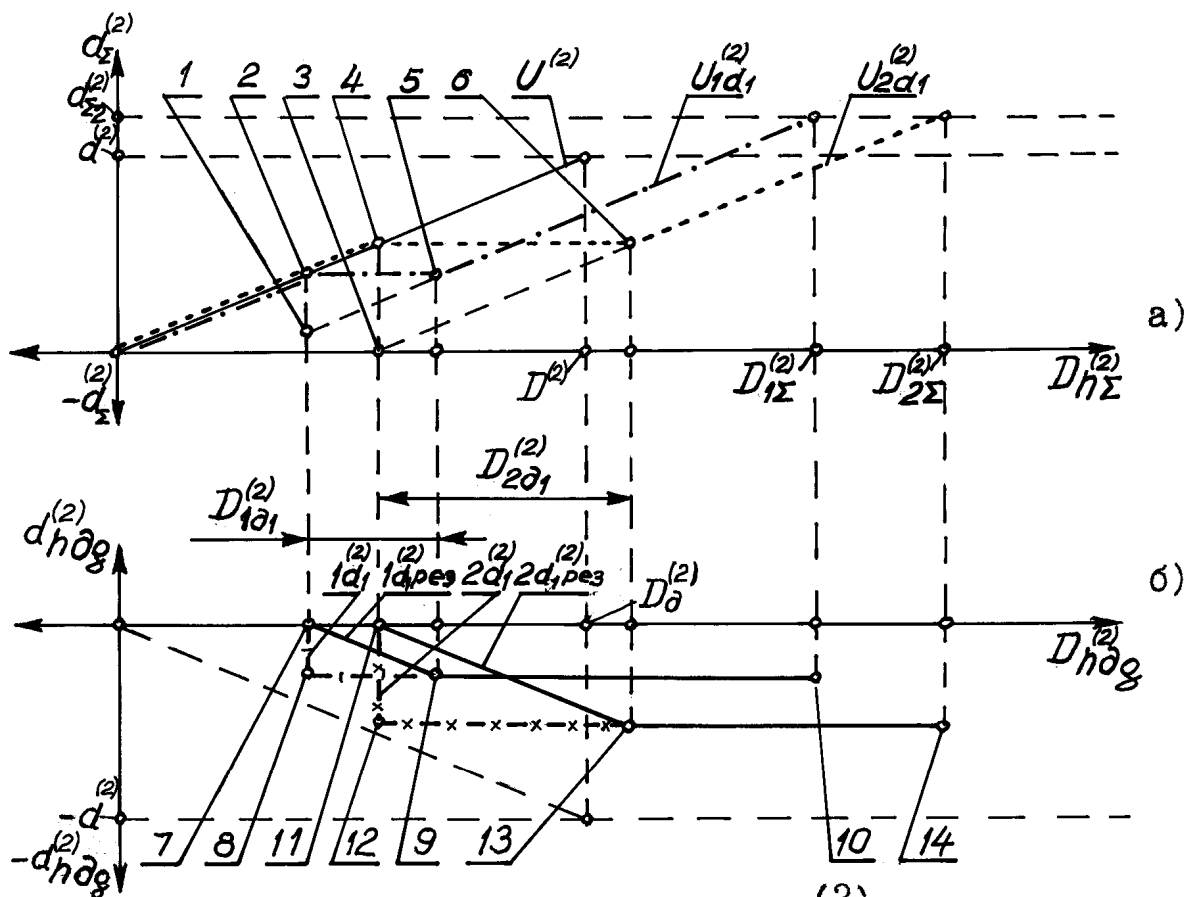
Фиг.2-7. Характеристики на НДПМІ при $\chi_{нд1}^{(2)} = +const$ и $d_{\Sigma}^{(2)} < d^{(2)}$ а) резултантни преобразувателни; б) допълнително въздействие.



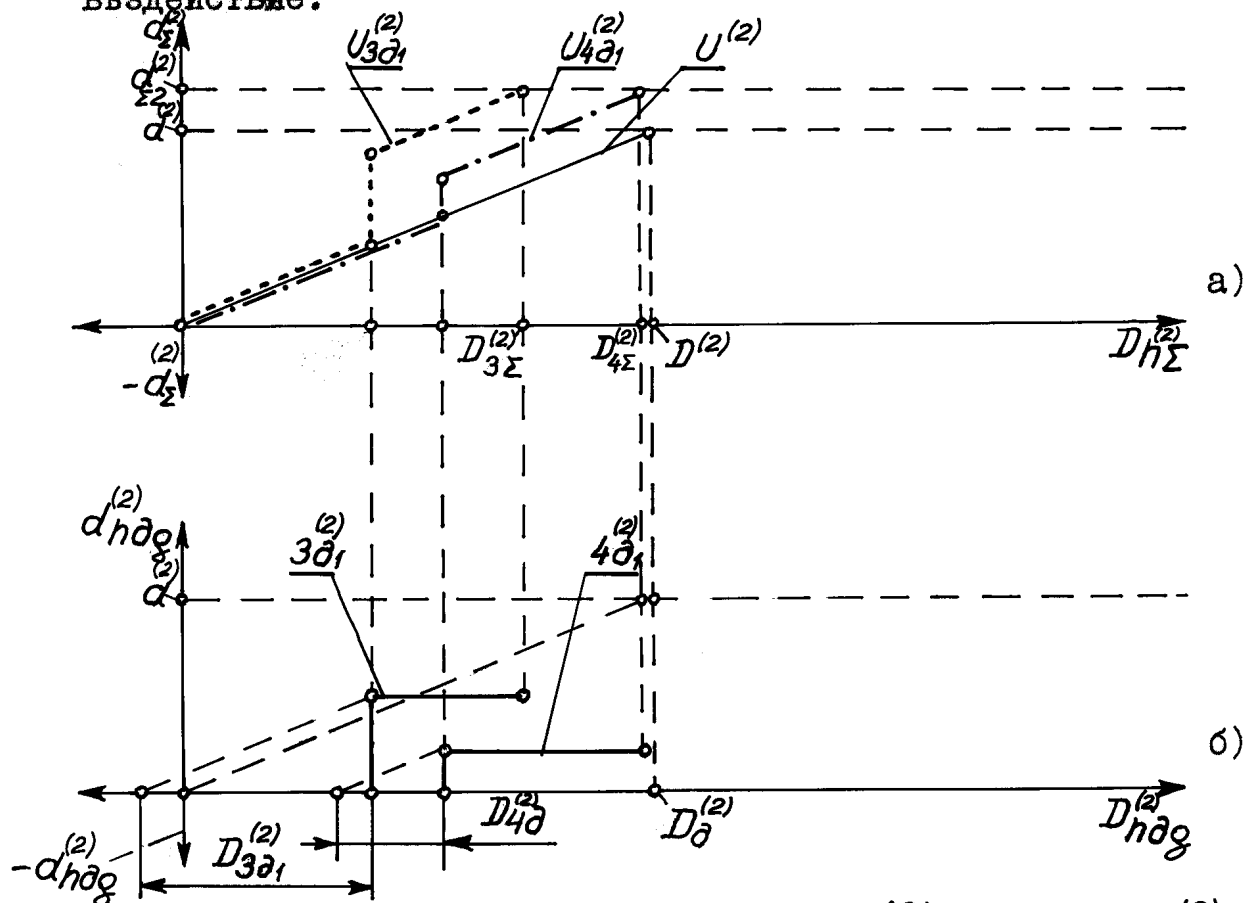
Фиг.2-8. Характеристики на НДМПИ при $X_{HDI}^{(2)} = -\text{varia}$ и $d_{\Sigma}^{(2)} < d^{(2)}$ а) резултантни преобразувателни; б) допълнително въздействие.



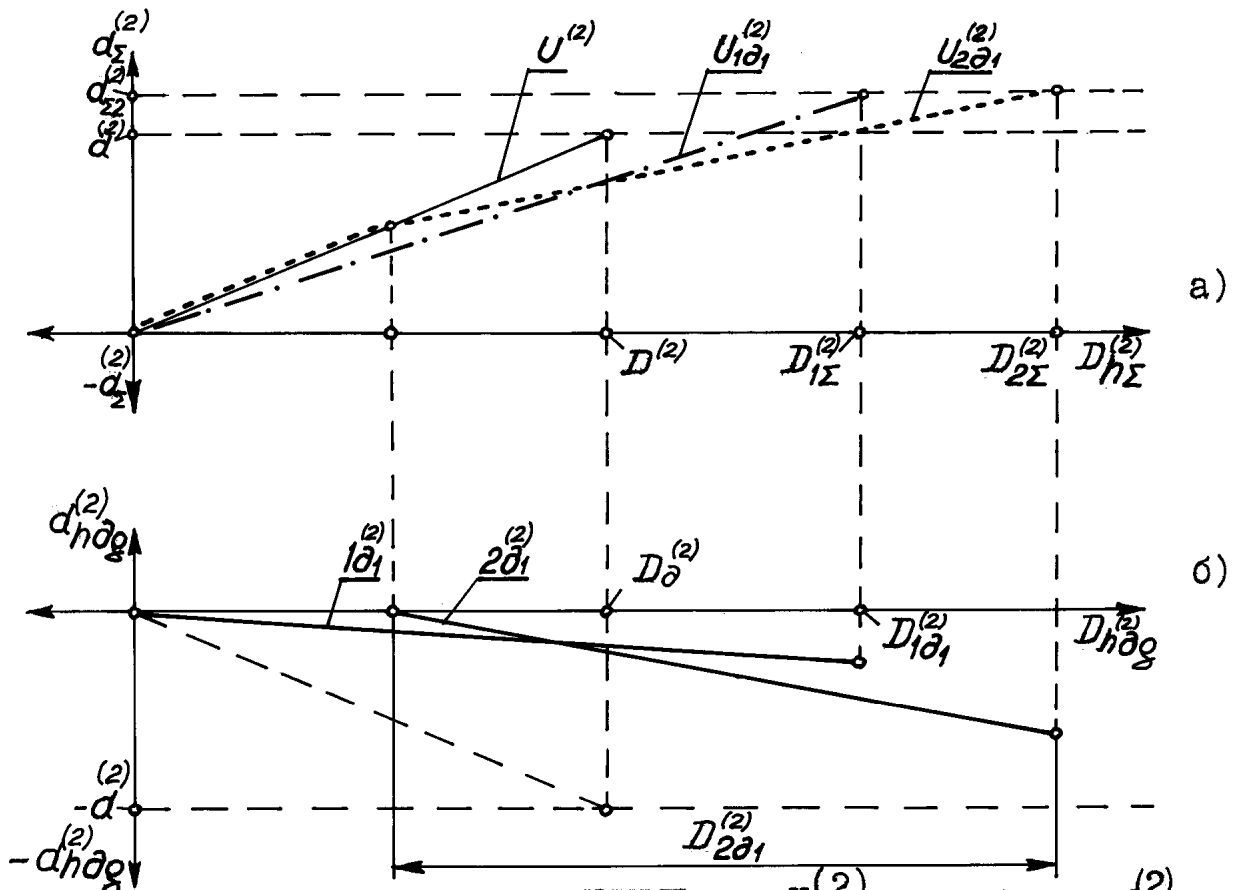
Фиг.2-9. Характеристики на НДМПИ при $X_{HDI}^{(2)} = +\text{varia}$ и $d_{\Sigma}^{(2)} < d^{(2)}$ а) резултантни преобразувателни; б) допълнително въздействие.



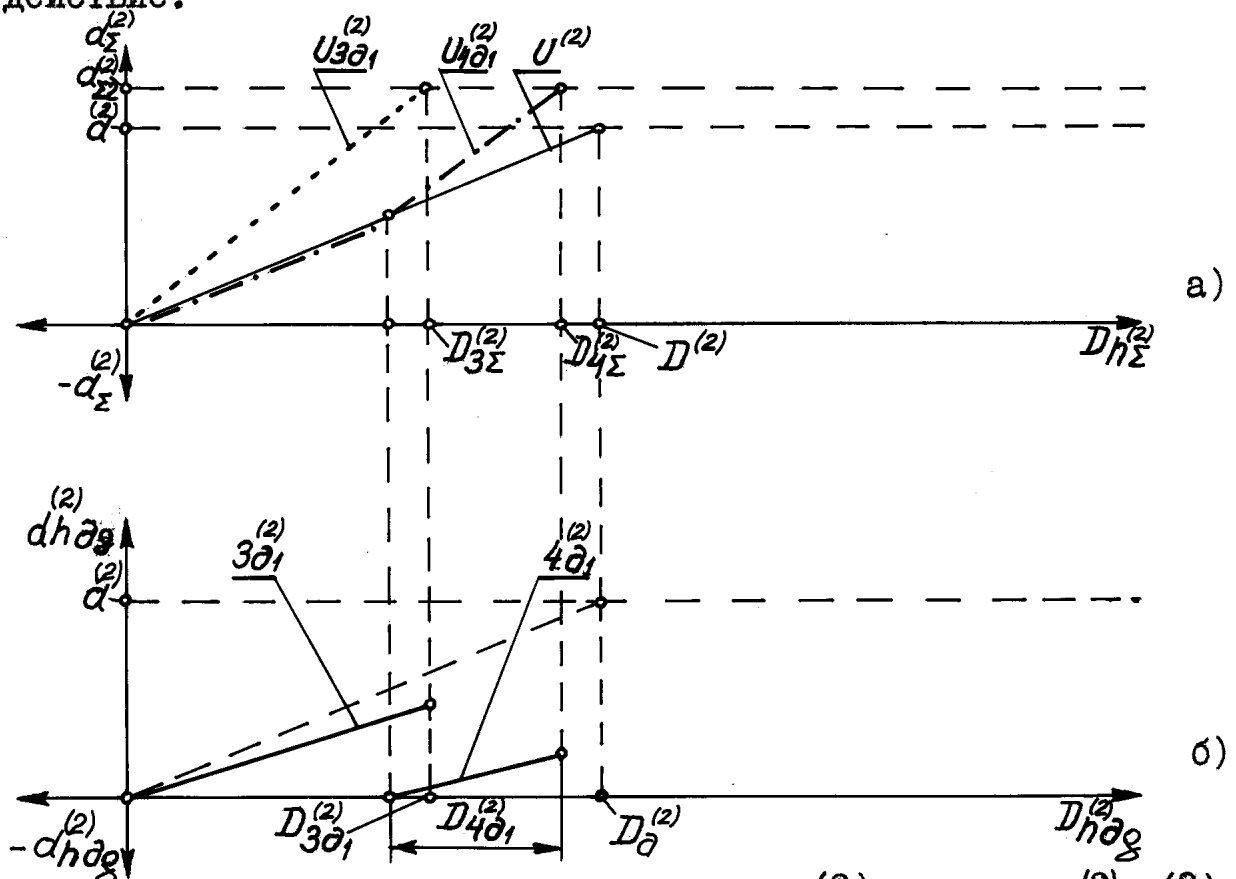
Фиг.2-10. Характеристики на НДМПИ при $\chi_{hd1}^{(2)} = -const$ и $a_{\Sigma}^{(2)} > a^{(2)}$ а) резултантни преобразуватели; б) допълнително въздействие.



Фиг.2-11. Характеристики на НДМПИ при $\chi_{hd1}^{(2)} = +const$ и $a_{\Sigma}^{(2)} > a^{(2)}$ а) резултантни преобразуватели; б) допълнително въздействие.



Фиг.2-12. Характеристики на НДМПИ при $\chi^{(2)} = -\text{varia}$ и $d_{\Sigma}^{(2)} > a^{(2)}$ а) резултантни преобразувателни; б) допълнително въздействие.



Фиг.2-13. Характеристики на НДМПИ при $\chi^{(2)} = +\text{varia}$ и $d_{\Sigma}^{(2)} > a^{(2)}$ а) резултантни преобразувателни; б) допълнително въздействие.

Методът може да се прилага по три основни начина:

- Чрез въздействие върху ПМП, участващ в измервателната верига на вече съществуващ или новоразработван преобразувател или СИ. Например, в еластичен динамометър с механичен отчет, посредством лостов мащабен преобразувател и индикатор от часовников тип;

- Чрез въздействие върху допълнителен ПМП, вграден извън измервателната верига на съществуващ или новоразработван преобразувател или СИ;

- Чрез комбинация от посочените две възможности.

Допълнителните въздействия - корекция и компенсация на грешките в ПМП и УИМП (УИД), могат да бъдат извършвани по предварително изградена програма или чрез използване на всички известни методи и схемни решения за реализиране на обратна връзка.

За допълнително увеличаване ефективността на метода могат едновременно да бъдат вградени УИМП и УИД в измервателната верига на СИ₁, сигналите на които след предварителна обработка да се сравняват. Така се увеличават точността, точностната надеждност и чувствителността на устройството.

2.2. Класификационно определение на метода

В метрологичната практика, схемата за измерване на механични премествания, сили, въртящ момент от сили и други механични величини включва в структурата си три основни елемента: база за закрепване на СИ и фиксиране на обекта на измерване -(Б), обект на измерване -(ОИ) и средство за измерване (СИ) [56,59,60,85,90] .

В процеса на измерване ОИ и СИ се намират в определена връзка (механична, оптична, индуктивна и др.). За гарантиране на получените резултати и осъществяване на самия измерва-

телен процес се реализират също и връзки и между ОИ, СИ и Б. Поради това, въздействието на външните влияещи фактори се проявява както върху ОИ, СИ и Б, така и върху съответните връзки между тях. Това обстоятелство определя в значителна степен подходите за компенсиране на възникналите грешки от измерване.

До момента се прилагат различни подходи за компенсиране на грешките в самото СИ, корекция на получения резултат чрез допълнително въздействие върху връзката "СИ-Б", или въвеждане на поправъчни коефициенти, отчитащи промените в тази връзка или във връзката ОИ и Б.

Получените резултати [60, 84] при реализирането на компенсация посредством допълнително въздействие върху връзката "СИ-Б", потвърждават целесъобразността на такъв подход, независимо от известната сложност и сравнително ограничена приложимост. Например, неговото приложение в динамометрични устройства за измерване на сила или торзионни моментомери практически е невъзможно или трудноосъществимо.

Предлаганият в настоящата работа метод за допълнително въздействие върху връзката "ОИ-СИ", осъществявана с ПМП е значително по-универсален с широка приложимост в нови или вече утвърдени в практиката преобразуватели и СИ. Той може да бъде използван както самостоятелно, така и съвместно с останалите методи за корекция и компенсация в зависимост от конкретното схемно и конструктивно решение на измервателно устройство.

В случаите, когато като ПМП се използва ЕДМП следва да се отчитат възникващите грешки от хистерезиса на материала, от който той е изграден. За намаляване влиянието на хистерезиса следва да се ограничи максимално допустимата деформация

на ЕДПМП до значения, при които относителната грешка от хистерезиса ще бъде в допустими граници. Също така могат да се прилагат методи за обратна връзка между ЕДПМП, компенсиращите звена и Δu_0 (фиг.2-1,в) и зависимост 2.2, като за целта се използва калибриращ сигнал, периодично измерване на образцов обект и др. Възможно е също реализиране на програмна компенсация, използване за изграждане на ЕДПМП на материали с подходящи физико-механични свойства [84] и др.

2.3. Функционална унификация на преобразуватели и средства за измерване на механични величини

Съществуващото многообразие на физични принципи за преобразуване и измерване, както и значителният брой схемни и конструктивни решения на преобразуватели и СИ, създава определени затруднения, както при тяхното систематизиране, така и при усъвършенствуването и реализацията на нови измервателни устройства.

Едновременно с това, значителна част от дейностите по разработката на СИ, обхващат тяхното структурно, схемно и конструктивно систематизиране, което оказва съществено влияние върху качеството на получаваните крайни резултати. Все по-често срещано явление, обаче, е поставянето на процеса за конструиране в пряка зависимост от подготовката и индивидуалните възможности на конкретния изпълнител за постигане на най-ефективно решение. Това нерядко води до неоправдани загуби на труд, време и средства.

През последните 15-20 години, в съвременната уредостроителна практика се полагат значителни усилия за развитието на рационални принципи за структурната, схемна и конструктивна систематизация, като съставна част от техническото конструиране и синтеза на високоточни измервателни устройства.

Направените проучвания [21,31,32,55,102,110] показват, че основен дял от изследванията и разработките са насочени към усъвършенствуване на този процес, чрез намаляване на субективното влияние върху получаваните крайни резултати и автоматизиране на проекто-конструкторските дейности с внедряване на ЕИТ в тяхното развитие.

2.3.1. Схема за функционална унификация на средства за измерване на механични величини

Предлаганата схема за функционална унификация на измервателни системи предполага създаването на унифицирани последователности от действия при конструиране на СИ на механични величини. Тя може да се разглежда като развитие на вижданията, изразени в [21, 102], за функционално конструиране и цели създаването на предпоставки за систематизиране и автоматизиране на процеса. Основната идея е в алгоритмизиране на процеса на конструиране на функционален, а не на обектов принцип.

Като основа за построяване на схемата за функционална унификация е възприет принципът за низходящо проектиране, който широко се прилага за създаване на програмни продукти в изчислителната техника [30, 40].

В тази връзка отделните етапи на проектиране, свързани с разработката на основния и работен принципи [102], както и на конкретните схемни и конструктивни решения, се представят в последователен ред чрез определени функционални описания. Част от тези описания могат да бъдат представени в явна математическа форма. Те максимално точно характеризират работата на бъдещото устройство като цяло и на неговите градивни елементи. Така получените описания се анализират и оптимизират съобразно конкретните метрологични и експлоатационни

изисквания, поставени в техническото задание и уточнени в хода на разработката. Въз основа на резултатите от проведения анализ се избират или разработват оптимални схемни и конструктивни решения, които се използват при подготовката на конструктивната документация на измервателното средство.

За целта, чрез използване на известни схеми и конструктивни решения, последователно се изграждат обща блокова схема на устройството и обобщени блокови схеми на отделни негови съставни части.

В зависимост от своята сложност, обобщената блокова схема се декомпозира на отделни самостоятелно обособени структурни единици с определено функционално назначение. Най-общо структурните единици могат да бъдат функционални елементи, групи, механизми, възли и детайли, които не са обвързани с конкретни схемни и конструктивни решения. В този смисъл могат да бъдат обособени в два типа: основни – пряко участващи в процеса на измерване, и помощни – не участващи пряко в измервателния процес. Едновременно с декомпозирането се установяват всичките обобщени функционални връзки между основните и помощните структурни единици.

При структурното декомпозиране се изграждат обобщени функционални описания за всяка структурна единица. Пригодността на получените зависимости се проверява чрез достатъчен брой примерни схемни и конструктивни решения, като максимално точно се определя вида и адреса на всяка установена функционална връзка и нейната обобщена функционална зависимост.

На практика примерните решения могат да бъдат реализирани чрез прегрупиране, прибавяне, отнемане или замяна на отделни съставни части във функционалното описание на структурната единица или на връзките, но със задължителното усло-

вие да не се променя съотношението между входа и изхода на структурната единица. Така всяка структурна единица се оформя като функционален модул.

За всяко функционално описание се извършва предварителен анализ, като при възможност се търси адекватно математическо описание. Определят се най-силно изразените коефициенти на влияние върху метрологичните и експлоатационни параметри на съответния функционален елемент, група, възел или детайл и се установява техния характер. Оптимизира се значението на тези коефициенти за удовлетворяване на определени изисквания от метрологичен и експлоатационен характер чрез избор на конкретни значения за параметрите на всяка функционална зависимост, като получените решения могат да бъдат повече от едно. Едновременно се изследват възможностите за взаимна трансформация между структурните единици и връзките, а така също тяхното намаляване или увеличаване.

След така проведения предварителен анализ, се пристъпва към избор на ефективни схемни и конструктивни решения на детайли, възли, механизми, групи и елементи, на вида и на адреса на връзките между тях. Допълнително се извършват всички възможни трансформации между единиците и връзките за оптимизиране на конструкцията, нейното действие и експлоатация.

Извършва се сравнителен метрологичен, експлоатационен и технологичен анализ на всеки вариант схемно и конструктивно решение на вида и на адреса на връзките между тях. След това се определя оптималния вариант на всяко решение, който подлежи на окончателно уточняване при разработката на конструктивната документация, изпитванията и проверката на изделието.

В хода на този процес могат да бъдат заимствувани готови схемни и конструктивни решения на отделни структурни единици

или на цели устройства (включително унифицирани или нормализирани), които удовлетворяват съответните функционални изследвания. При необходимост, за намиране на оптималното решение следва да бъде използван метода на инверсията [21].

Изготвянето на конструктивната документация се извършва по вече установени в практиката и съответните нормативни документи правила, като се използват определените през отделните етапи на декомпозиране аналитично оптимизирани схемни и конструктивни решения.

Схемата за функционална унификация, моделиране на преобразуватели и СИ на механични величини, както е показано на фиг.2-14, се изгражда на шест основни нива:

Първо ниво - изграждане на обобщена блокова схема и функционално описание на бъдещото измервателно устройство и декомпозиране на отделни функционални елементи.

Второ ниво - изграждане на обобщени блокови схеми и функционални описания на отделните елементи и тяхното декомпозиране на отделни функционални групи.

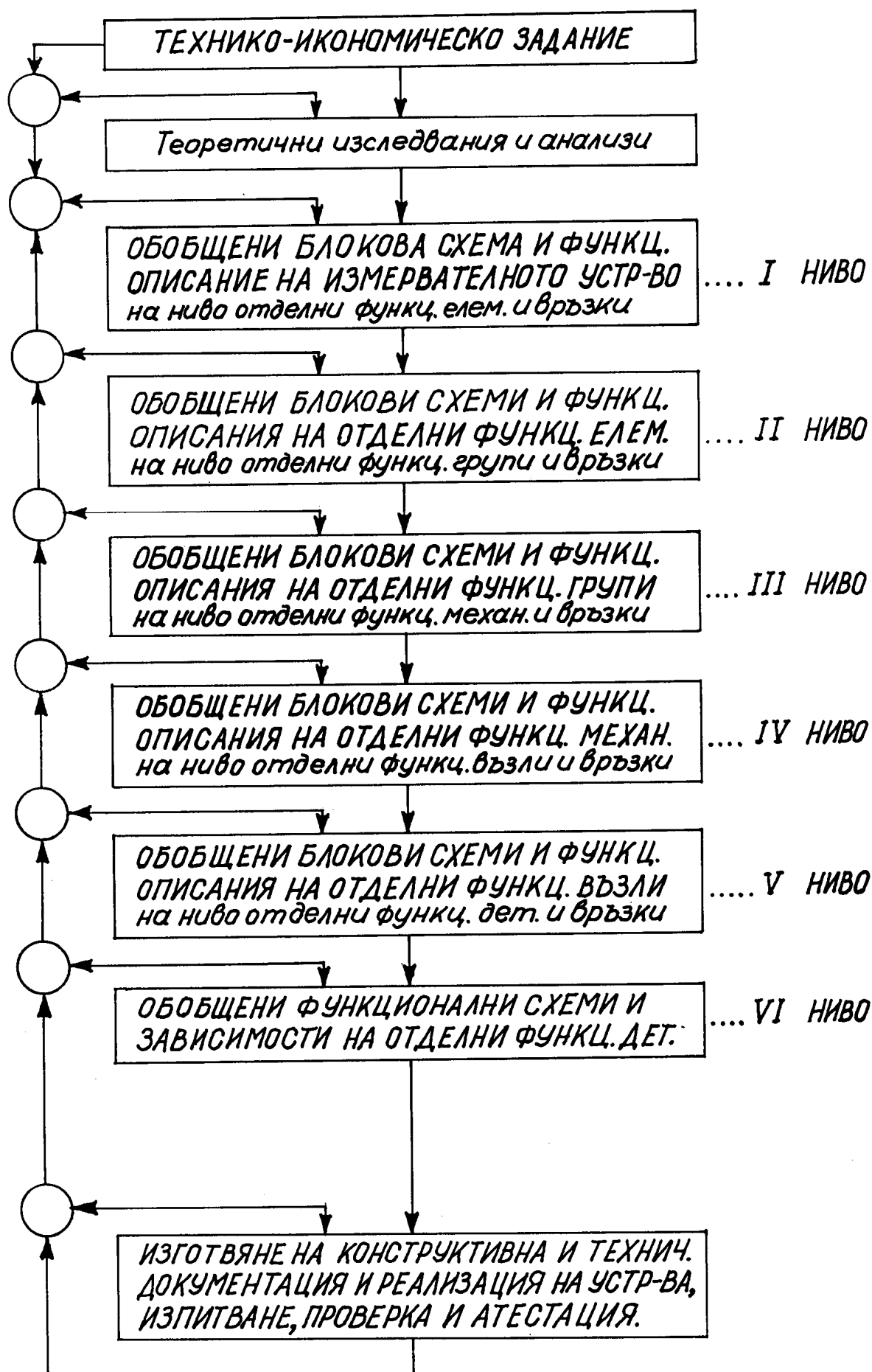
Трето ниво - изграждане на обобщени блокови схеми и функционални описания на отделните групи и тяхното декомпозиране на отделни функционални механизми.

Четвърто ниво - изграждане на обобщени блокови схеми и функционални описания на отделните механизми и тяхното декомпозиране на отделни функционални възли.

Пето ниво - изграждане на обобщени блокови схеми и функционални описания на отделните възли и тяхното декомпозиране на отделни детайли по функционално предназначение.

Шесто ниво - изграждане на обобщени схеми и функционални описания на отделните детайли.

Дейностите и реда за тяхното извършване на всяко отделно



Фиг.2-14. Схема за функционална унификация на преобразуватели и СИ на механични величини.

ниво са аналогични за всяка структурна единица и могат да бъдат представени от следният алгоритъм, както следва:

1. Изграждане на обща блокова схема и общо функционално описание на структурната единица (устройство, елемент, група, механизъм, възел или детайл) на базата на известни схемни и конструктивни решения.

2. Замяна на общото функционално описание с обобщено, което обхваща широк кръг схемни и конструктивни решения с еднакви или близки на желаните функционални възможности.

3. Определяне на обобщените функционални зависимости на връзките между структурните единици, намиращи се на различни нива на декомпозиране.

4. Намиране на аналитични или емпирични модели, еквивалентни на обобщените функционални описания и функционални връзки на структурните единици.

5. Проверка на изградените функционални зависимости чрез заместване с конкретни устройства.

6. Предварителен анализ на функционалните зависимости, получени на съответното декомпозирано ниво и определяне на коефициентите на влияние върху метрологичните и експлоатационни параметри на съответната структурна единица.

7. Избор на ефективни схемни и конструктивни решения на структурната единица, вида и адреса на функционалните връзки.

8. Сравнителен анализ на метрологичните, експлоатационни и технологични възможности на всяко решение.

9. Определяне на оптималния теоретичен вариант на схемно и конструктивно решение за дадената структурна единица.

Изложената схема за унификация на процеса на структурно, схемно и конструктивно моделиране е начален опит за използване принципите на низходящото модулно проектиране и функ-

ционалната взаимозаменяемост при разработката на чисто механични СИ по функционален признак. Така се оформя теоретична надстройка на съществуващите методи за конструиране с възможност за унифициране на извършваните операции, съкращаване на времето за проектиране и внедряване на СИ и свеждане до минимум на грешките при избора на схемни и конструктивни решения още на етапа на проектиране. Едновременно с това се създават предпоставки за намаляване на субективното влияние при проектиране на СИ.

Развитието на схемата за функционално-възлова унификация в съчетание с метода за допълнително формиране на измервателния сигнал има две важни практически приложения:

1. Улеснява се систематизирането на различни схемни решения, стимулира се унификацията и се създава база за изграждане на САПР на средства за измерване на механични величини.

Могат да се оформят два основни класа унифицирани СИ.

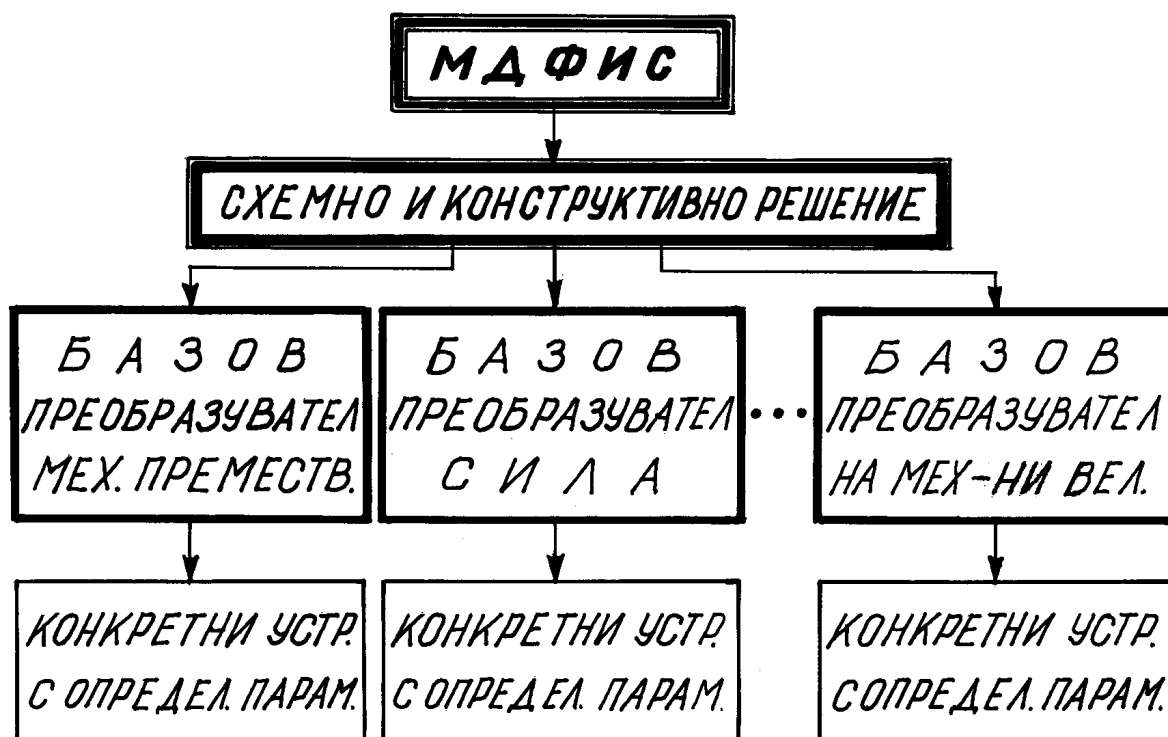
- Базови преобразуватели и СИ на една определена физична величина (фиг.2-15).

С тяхна помощ се изгражда гама еднотипни по схемно и конструктивно решение СИ за удовлетворяване на определени метрологични и експлоатационни изисквания на научните изследвания и производството.

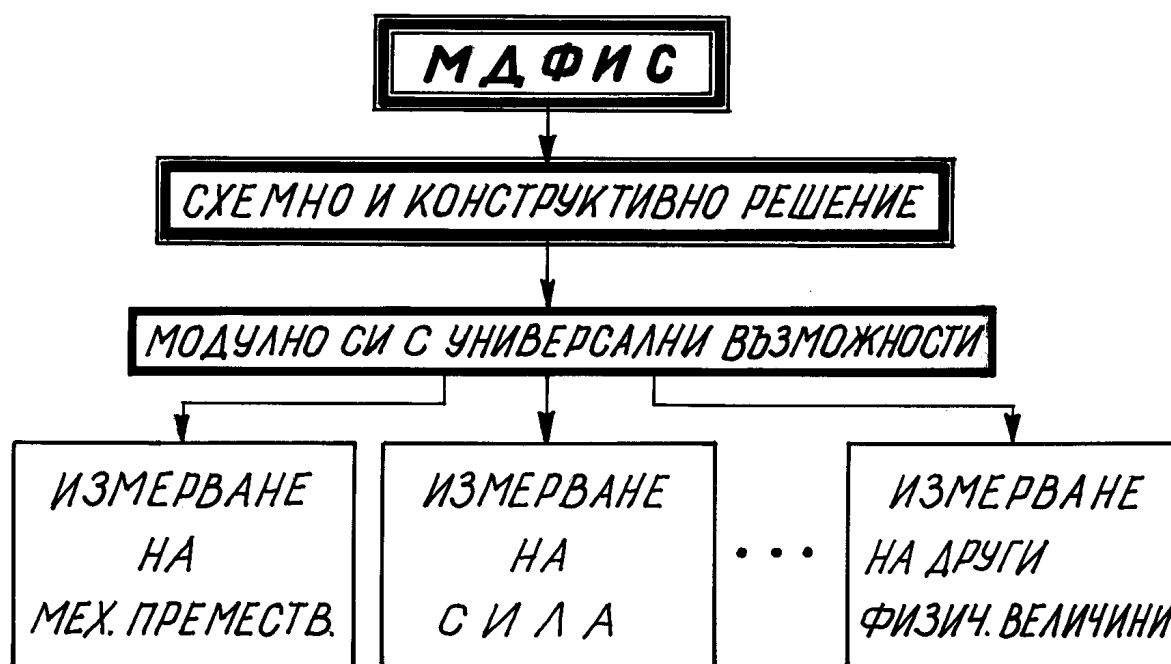
Така схемата бе разработена и приложена [69,70] за изграждане на концепция и структура на Национален еталон за въртящ момент от сила, описани в [70].

- Модулни преобразуватели и СИ на повече от една физична величина (фиг. 2-16).

Те са основа за превръщане на оригинални единични идеи [29] в перспективен подход за създаване на унифицирани СИ с универсално предназначение. Така се създават реални възмож-



Фиг.2-15. Схема за изграждане на базови преобразуватели и СИ на една определена механична физична величина.



Фиг.2-16. Схема за изграждане на модулни преобразуватели и СИ на повече от една механична физична величина.

ности за рязко намаляване на многообразието от схемни и конструктивни решения на преобразуватели и СИ.

В глава 3 този подход е използван за създаване на унифициран първичен преобразувател за измерване на линейни премествания и сили чрез измерване на премествания.

2. Създават се условия за изграждане на функционално и обектово унифицирано техническо и нормативно метрологично осигуряване на СИ на механични величини.

2.3.2. Унификация на метрологичното осигуряване на средствата за измерване

Могат да бъдат възприети два основни варианта за методологично изграждане на метрологично осигуряване (МО).

А. Компенсиране или отчитане на грешките, възникнали само в елементите на МО с използване на индивидуални методи за корекция и компенсация.

При това решение се постигат определени точностни параметри на МО, независимо от характеристиките на проверяваното измервателно устройство, но се нарушава единството на връзките между обекта на измерване, СИ и стойката (базата). Възможно е също да бъдат внесени допълнителни систематични и случайни грешки при измерване от наличие на отклонения във взаимното разположение и моментното състояние на МО и проверяваното СИ.

При необходимост тук може да се прилага методът за допълнително формиране на измервателния сигнал, но само към елементите, изграждащи самото метрологично осигуряване.

Б. Едновременно отчитане и компенсиране на грешките, възникващи в елементите на МО и проверяваното СИ.

Подходите за реализиране на този вариант се определят в зависимост от граничната точност, степента на въведена ко-

рекция и компенсация, условията за бъдещата експлоатация на проверяваното СИ и т.н. Независимо от различията, комплексът от действия и взаимни връзки се свежда до реализиране на автоматична компенсация по метода на сравнението в равновесен режим [7, 94] и прилагане на предложения метод за допълнително формиране на измервателния сигнал. В зависимост от възприетия метод на проверка, елементите на МО ще включват база и СИ-при извършване на краен отчет по скалата на изходното образцово средство, или база и ОИ - при отчитане по скалата на проверяваното СИ.

Нормирането на метрологичните и експлоатационни характеристики на МО се извършва като се отчитат условията за работа и предварителните изисквания към проверяваните измервателни устройства.

Метрологичното осигуряване може да бъде структурирано чрез:

- разработване на оригинално или специално оборудване с конкретно или универсално предназначение;
- използване на вече разработено оборудване с минимални доработки и усъвършенствуване;
- реализиране на автономно проверяване [34] .

Последният подход включва минимален комплект допълнителни средства за проверка на устройството, или се базира изцяло върху неговите собствени съоръжения. За целта, някое от тях може да бъде предварително атестирано с висока точност, след което получените резултати се използват при цялостната проверка на СИ. Този вариант е разработен и използван при създаване на образцовата уредба, описана в [64, 67]. Предвижда се неговото използване при реализирането на Национален еталон за въртящ момент от сила [69 ÷ 73, 95].

Следващ етап в развитието на МО е неговата унификация. Тя може да се извърши както при измервателните устройства

Тази задача е особено актуална за МО на унифицирани СИ, за да не бъде намален ефектът от тяхното внедряване, вследствие реализирането на голям брой специализирани проверочни устройства. За решаването и могат да се приложат конструкции и проверочни схеми с универсален по отношение вида на измерваната величина характер. Възможно е също да бъде приложена обектова унификация към градуираните елементи на МО.

Завършващ етап от цялостното метрологично осигуряване на новоразработваните и усъвършенствувани СИ е нормативното метрологично осигуряване. То включва методи и методики за метрологични изпитвания и проверки на метрологичните параметри на измервателните устройства.

За всеки конкретен случай, възприетият подход в значителна степен определя структурата и обема на извършваните метрологични дейности. Те обхващат сравняване на точността, чувствителността, диапазона на измерване и практическата съвместимост на предложените методи за проверка на СИ с измервателните методи, заложи в проверяваното устройство.

От особено значение е осигуряването на коректни метрологични резултати в случаите, когато диапазонът на изменение на образцовата физична величина, формирана от МО за проверка на СИ, е по-малък от диапазона на проверка на проверяваното устройство. В този случай най-подходящ за проверка е методът на заместване (МЗ) [56, 105]. Той позволява да се увеличи проверявания диапазон чрез заместване на образцовата физична величина с известна (и аналогична на образцовата) физична величина, възпроизвеждана от мярка. В този случай, стойността на мярката може да бъде определена чрез предварителна атеста-

ция с определена точност или непосредствено отчетена с помощта на отчетното устройство на самото проверявано измервателно устройство.

Последният начин най-често се прилага в метрологичната практика за проверка на голямотонажни автомобилни везни, но броят на извършваните замествания е ограничен до три. Това ограничение се налага от значителните грешки, които се внасят в крайния резултат, поради неспазване на схемата за предаване на единицата в определения низходящ ред.

За да се реализират възможностите на метода при многократно (в това число повече от три) заместване на образцовата физична величина с мярка, следва: а) допълнителната мярка предварително да се атестира с точност, съизмерима или по-голяма от точността на образцовата физична величина; б) да се използва допълнителна отчетна система (ДОС) с точност, съизмерима с точността на образцовата величина.

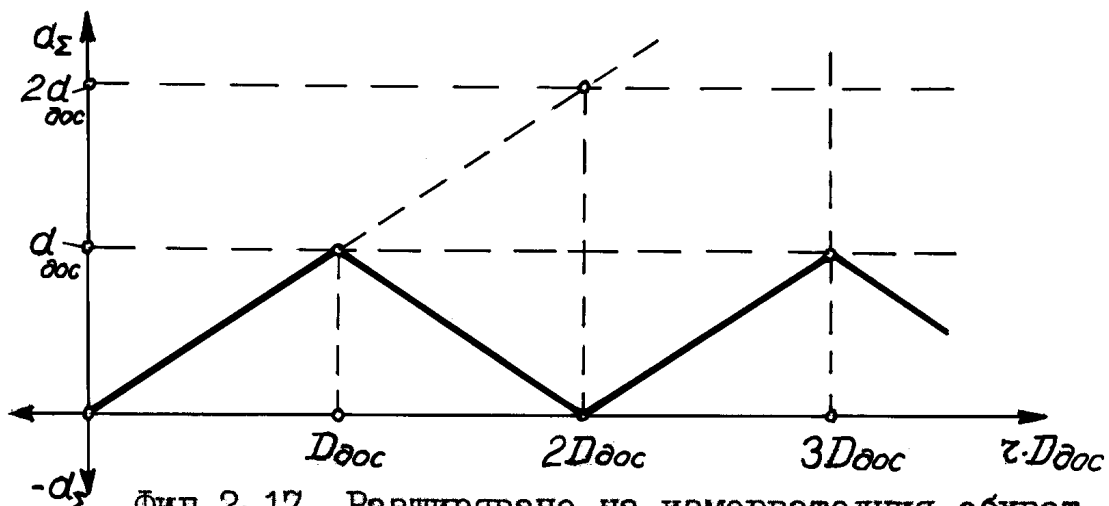
В този случай може да бъде приложен методът за допълнителна корекция, реализиран чрез прилагане на въздействие или чрез използване на допълнителна мярка.

В зависимост от измервателния обхват на ДОС, включена към проверяваното СИ, са възможни два варианта за проверка:

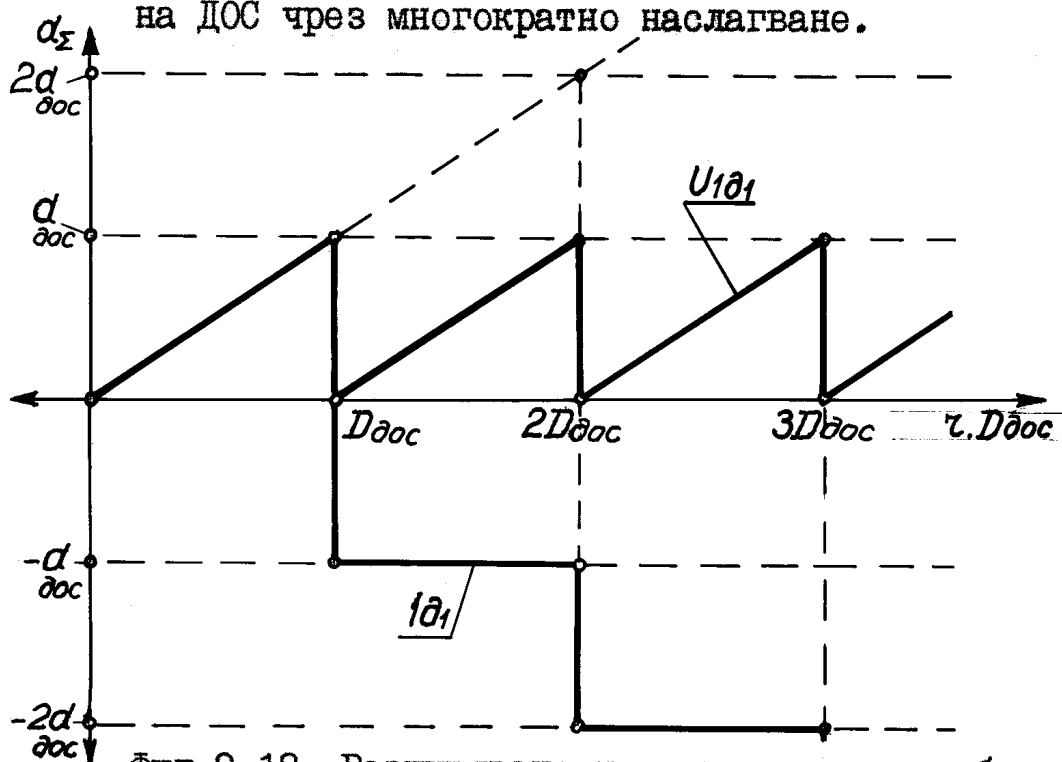
А. Измервателният обхват на ДОС ($D_{\text{дос}}$) е по-малък от обхвата D на проверяваното СИ.

В този случай $D_{\text{дос}}$ се прилага многократно съгласно фиг.2-17, или чрез използване на допълнително въздействие с отрицателен знак, съгласно фиг.2-18. Общата грешка от проверка $\Delta_{\text{пр1}}$ по вариант А ще бъде равна на

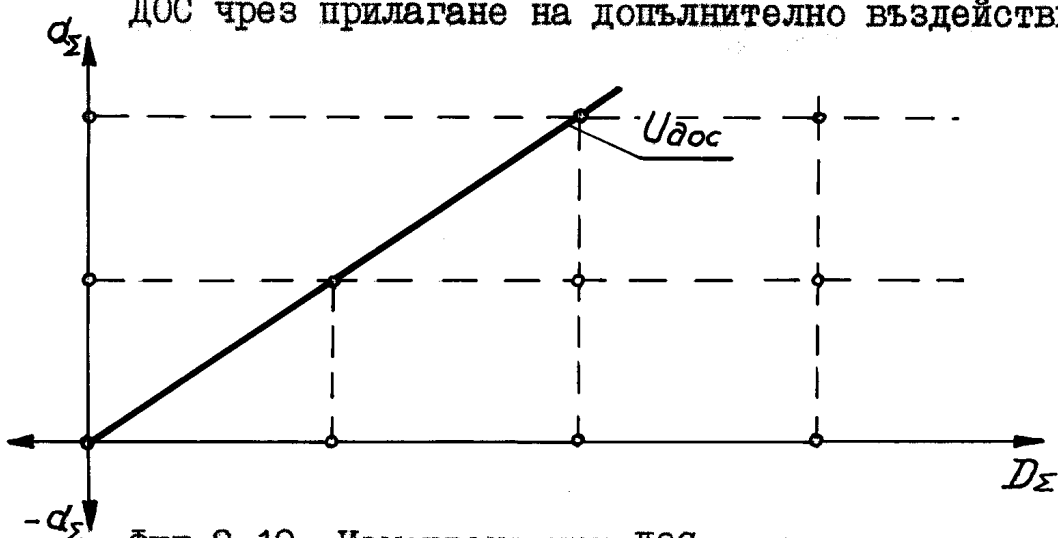
$$(2.21) \quad \Delta_{\text{пр1}} = \sum_1^r \Delta_{\text{дос}} + \sum \Delta_{\text{отч}} + \sum_{\text{дм(дв)}}^{r-1} \Delta + \sum_1^{r-1} \Delta_{\text{прен}}$$



Фиг.2-17. Разширяване на измервателния обхват на ДОС чрез многократно наслагване.



Фиг.2-18. Разширяване на измервателния обхват на ДОС чрез прилагане на допълнително въздействие.



Фиг.2-19. Измерване при ДОС с измервателен обхват равен или по-голям от обхвата на проверяваното СИ.

където: $\Delta_{\text{дос}}$ - грешка на допълнителната отчетна система (ДОС); $\Delta_{\text{дм(дв)}}$ - грешка на допълнителната мярка (допълнителното въздействие) приложено към ДОС; $\Delta_{\text{отч}}$ - грешка на отчет по ДОС; $\Delta_{\text{прен}}$ - грешка от пренастройка на ДОС; r - брой извършвани пренастройки на ДОС.

Б. Измервателният обхват на ДОС е равен или по-голям от обхвата на проверяваното СИ.

В този случай проверката се извършва съгласно фиг. 2-19, като допълнителната мярка или въздействие се прилага директно върху системите на проверяваното СИ и тяхната стойност се отчита от ДОС.

В този случай общата сумарна грешка от измерване $\Delta_{\text{пр2}}$ по вариант Б се определя съгласно (2.22).

$$(2.22) \quad \Delta_{\text{пр2}} = \sum_1^r \Delta_{\text{дос}} + \sum_1^r \Delta_{\text{отч}} + \sum_1^{r-1} \Delta_{\text{прен}};$$

И за двата варианта следва да са в сила неравенствата:

$$\Delta_{\text{пр}} \ll \frac{\Delta_{\text{н}\Sigma}}{10} ; \quad r \leq \frac{\Delta_{\text{н}\Sigma}}{10\Delta_{\text{пр}}}$$

където: $\Delta_{\text{н}\Sigma}$ - нормирана сумарна грешка на проверяваното СИ.

Предимствата на изложените подходи частично са доказани при измерване на механични премествания чрез хоризонтални дължиномири, измервателни машини и др. По аналогичен начин те се прилагат в практиката на теглоизмерването при работа с аналитични и квадрантни везни или за извършване на измервания по метода на Менделеев.

В настоящата работа те са използвани в метрологичната проверка на лабораторно устройство за измерване на механични премествания и сили - наречен стенд за експериментални изследвания (СЕИ) и уредба за проверка на динамометрични ключове (УЩК) [65 ÷ 67]. Тяхното прилагане позволява реализира-

не на оригинално схемно и конструктивно решение на Национален еталон за въртящ момент от сила на НРБ [69 ÷ 73, 95].

2.4. Изводи

1. Предложен е метод за допълнително формиране на измервателния сигнал за промяна на метрологичните и експлоатационни параметри на нови или внедрени в практиката СИ на механични величини (механични премествания, сили, въртящи моменти от сили и др.) чрез допълнително въздействие във вид на сила или механично преместване върху самостоятелно обособен или вграден в измервателната верига на СИ недеформируем или еластично деформируем мащабен елемент, преобразуващ измерваната физична величина в механично преместване или еластична деформация.

2. Изведени са ограничителни неравенства за стойността на прилаганото допълнително въздействие и обхватите на преобразуване и измерване, стойността на скално деление и съотношението между относителните грешки на компенсираната и компенсиращата вериги.

3. Въз основа на метода за допълнително формиране на измервателния сигнал е обоснована възможността за изграждане на унифицирани модулни устройства за измерване на механични величини, преобразувани в механично преместване или деформация, с възможност за регулиране на пределно достижимата точност, вида, диапазона на изменение на измерваната физична величина и за едновременно измерване на две и повече физични величини.

4. В съчетание с метода за допълнително формиране на измервателния сигнал е предложен подход за прилагане на метода на заместване при формиране и предаване на образцова физична

величина към проверяваното измервателно устройство с висока точност и разширен диапазон на изменение.

5. Предложена е схема за функционална унификация на механични и електромеханични преобразуватели и СИ на механични величини чрез итеративно изпълняване на унифицирани последователности от действия за изграждане на рационални схеми и конструктивни решения и тяхното оптимизиране по зададени метрологични, експлоатационни и технологични изисквания преди изпълнение на конструктивната документация.

6. Изразено е виждане относно експерименталното и метрологично осигуряване на модернизирани и новоразработвани измервателни устройства, като са разгледани варианти за неговото структурно изграждане и унифициране.

Г Л А В А 3

УСТРОЙСТВА ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА ЛИНЕЙНИ ПРЕМЕСТВАНИЯ И СИЛИ^{*}

В съвременната метрологична практика, значенията на основните метрологични характеристики – диапазон на измерване и точностна надеждност (стабилност на преобразователната функция и първоначална настройка) за по-голямата част от измервателните уреди и преобразуватели се намират в обратно пропорционална спрямо точността зависимост.

Този проблем е особено важен при устройствата за измерване на механични премествания и сили (маса), където ефективността на внедрените методи, схемни и конструктивни решения зависи пряко от използваните подходи за гарантиране достоверността на получаваните крайни резултати от измерване. В този смисъл, високоточните измервания на тези физични величини налагат ограничаване, компенсиране или изключване на грешките при отчитане, възникнали под въздействие на промени в околната температура, остатъчни деформации в материалите, грешки при базирането и т.н.

В гл. 3 са представени теоретични и експериментални изследвания на лабораторен модел на устройство за преобразуване и измерване на механични премествания и сили с използване

^{*} Виж бележката на стр. II

на предложения в гл.2 метод за допълнително формиране на измервателния сигнал. В лабораторни условия са изследвани ефективни схемни и конструктивни решения с вграждане на оригинални първични мащабни преобразуватели, като са разгледани възможностите за създаване на универсални модулни преобразуватели и прилагане на унификация и агрегатиране при тяхното изграждане.

Основните резултати от гл.3 са отразени в: [61 ÷ 63, 65, 66, 96].

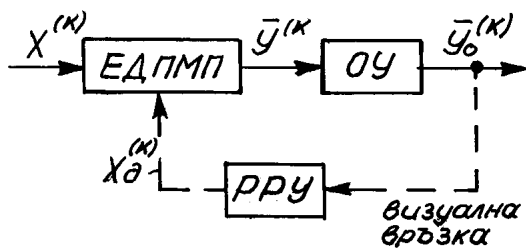
3.1. Структурен анализ

Схемното решение на устройствата реализира възможно най-късата верига на преобразуване и корекция, като е спазен принципът на Абе при формиране, предаване и сравняване на измерваната физична величина.

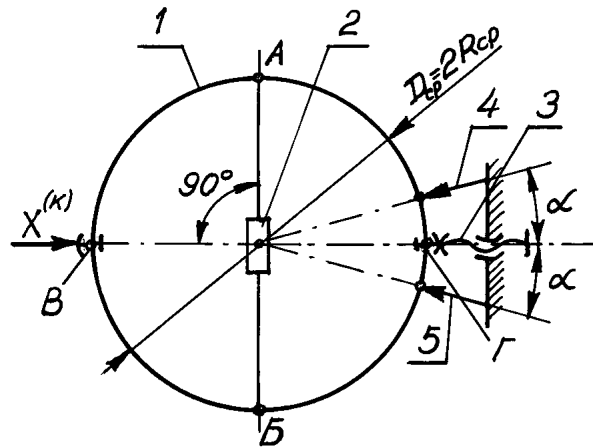
На фиг.3-1 е представена блоковата схема на модела, която включва: еластично-деформируем ПМП; отчитащо устройство (ОУ), регистриращо измененията $\bar{y}^{(k)}$ в ЕДПМП под въздействие на проверяваната физична величина и ръчно регулиращо устройство (РРУ) за реализиране на допълнително въздействие $x_{де}^{(k)}$ върху ЕДПМП в зависимост от отчетената величина $\bar{y}_0^{(k)}$.

Физичният модел допуска изследването на различни типове измервателни преобразуватели на механични премествания и реализирането на знакопроменливи регулиращи въздействия в различни точки на ЕДПМП.

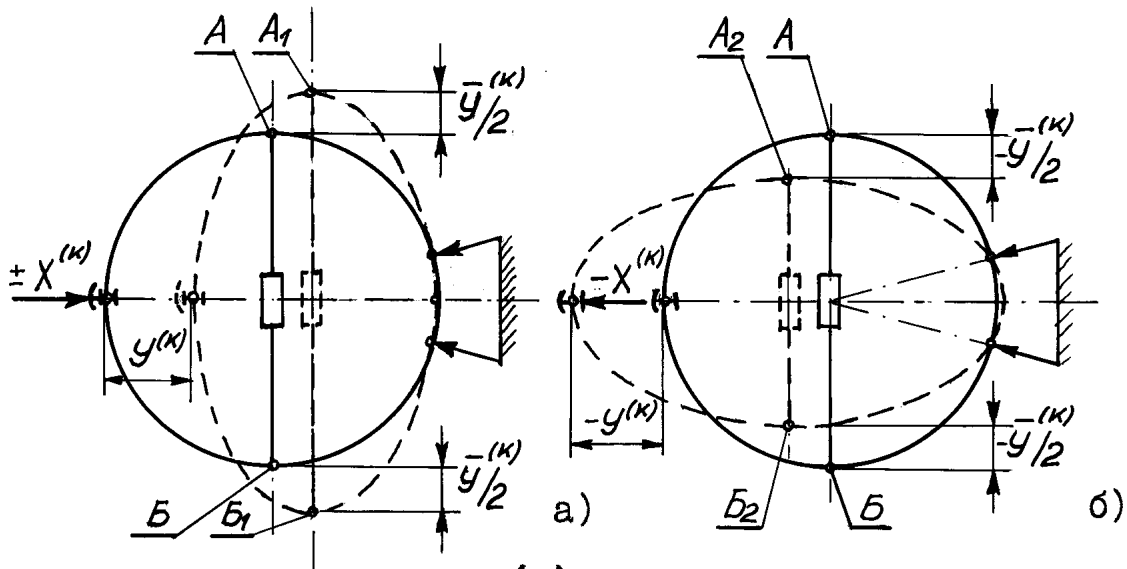
На фиг.3-2 е представен физичният модел на реализираното устройство, което включва: ЕДПМП във вид на пръстен 1, по един от диаметрите на който е закрепено ОУ 2, което е преобразувател или СИ на механични премествания от произволен тип. Пръстенът е фиксиран към стойка чрез неподвижни опори



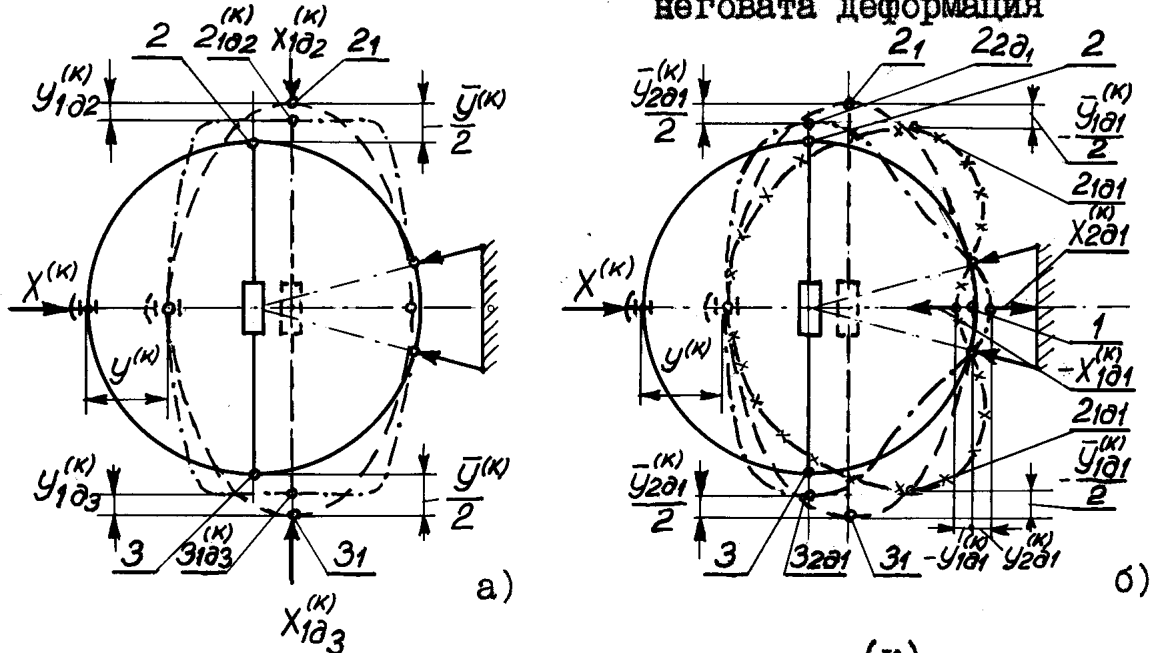
Фиг.3-1. Блокова схема на модел на СИ с включен ЕДПМП.



Фиг.3-2. Физичен модел на СИ с включен ЕДПМП (пръстен).



Фиг.3-3. Прилагане на $\pm X^{(k)}$ върху ЕДПМП и характер на неговата деформация



Фиг.3-4. Основни варианти за прилагане на $X^{(k)}$ върху ЕДПМП (пръстен).

4 и 5, разположени и монтирани по показания на схемата начин. Между двете опори, осите на които сключват ъгъл 2α , в т.Г се прилагат допълнителни въздействия чрез РУ 3. След прилагане на измерваната физична величина $x^{(k)}$ (механично преместване ($k=1$) или сила ($k=2$)), върху определена точка от пръстена 1, той се деформира (фиг.3-3, а и б). При това, диаметърът, по който е закрепено ОУ се променя на величина $\pm \bar{y}^{(k)} = \bar{y}^{(k)}(\pm x^{(k)})$. Допълнителните коригиращи и компенсиращи въздействия $x_{ндг}^{(k)}$ могат да бъдат прилагани [63] по два начина (фиг.3-4, а или б).

И в двата случая се извършва допълнително преразпределение на деформациите в ЕДПМ, като се внася корекция в размера А-Б и, съответно, в показанията на ОУ.

Отчетената стойност $\bar{y}_0^{(k)}$ на изменението $\bar{y}^{(k)}$ на диаметра АБ (фиг.3-3, а и б), съгласно (2.1) и (2.2) се определя в зависимост от предавателните функции на пръстена $i^{(k)}$ и на ОУ - $i_0^{(k)}$, където:

$$i^{(k)} = \frac{y^{(k)}}{x^{(k)}} = \begin{cases} i^{(k)}(\alpha) & \text{— при измерване на механични премествания [74]} \\ i^{(k)}(R, E, J, \alpha) & \text{— при измерване на сили [74].} \end{cases}$$

R, E, J , — параметри на материали и геометрията на пръстена

$i_0^{(k)}$ — зависи от конкретното схемно и конструктивно решение на УИМП или УИД.

Грешката $\Delta y_0^{(k)}$ на $y_0^{(k)}$ се определя съгласно (2.3) и (2.4), като за пълно компенсиране на $y_0^{(k)}$, следва да бъде изпълнено условието (2.5), при което $\Delta y_{од}^{(k)}$ се определя съгласно (2.6).

Допълнителното въздействие $x_{ндг}^{(k)}$ може да се прилага в различни характерни точки на ПМП. Във всяка характерна точка мо-

гат да бъдат прилагани повече от едно единично допълнително въздействие с индивидуални метрологични и експлоатационни параметри.

На фиг.3-4, а и б. са предложени два примерни варианта за прилагане на единично допълнително въздействие означено с $X_{hдг}^{(к)}$ с предавателно отношение $i_{hдг}^{(к)}$, където: $h = 1, \dots, H$ - пореден номер на прилаганото единично допълнително въздействие $X_{hдг}^{(к)}$ в определена характерна точка "г" от ПМП; $g = 1, \dots, f$; f - брой характерни точки на ПМП, в които се прилага $X_{hдг}^{(к)}$.

При първия вариант (а) в т.2 и 3 - $i_{1д2(3)}^{(к)} = 1$, като $X_{1д2}^{(к)} = X_{1д3}^{(к)}$ и се прилагат едновременно, а при втория (б) $i_{hд1}^{(к)}$ в т.1 се определя, както следва:

$$i_{hд1}^{(к)} = \begin{cases} i_{hд1}^{(к)}(\alpha) - \text{при измерване на механични премествания [74] (вж.табл.3.1)} \\ i_{hд1}^{(к)}(R, E, J, \alpha) - \text{при измерване на сили (маса) [74] (вж.табл.3.1)} \end{cases}$$

Получаването на зависимостите за определяне на $y_{од}^{(к)}$ в общ случай се извършва съгласно (2.7), а при автоматично или полуавтоматично регулиране с въведени обратни връзки, съгласно (2.9).

В последния случай коефициентите на преобразуване на веригите, реализиращи обратните връзки се определят съобразно конкретните схемни и конструктивни решения на съответните изпълнителни звена и зависят от конструктивните параметри на ЕДПМП (пръстен) и физико-механичните свойства на материала, от който той е направен.

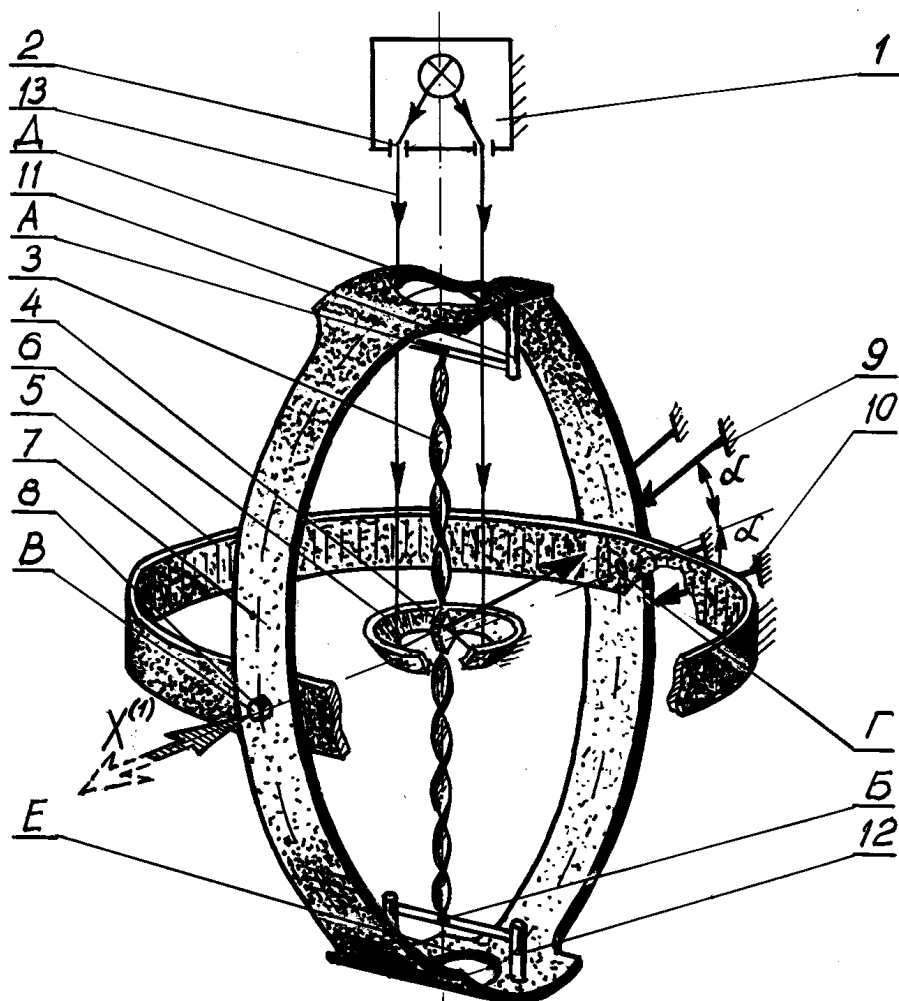
Определянето на относителната грешка $\delta_o^{(к)}$ на устройството и относителната грешка $\delta_{од}^{(к)}$ на веригата за реализиране на $X_{д}^{(к)}$ върху пръстена се извършва съгласно (2.10), (2.11) и (2.12).

На фиг.3-5 е показана кинематична схема на лабораторен уред, който представлява пружинно-оптичен преобразувател с повишен измервателен обхват, построен по авторска защитена схема [62, 63]. Схемата осигурява измерване на различни по природа физични величини, като механични премествания, сили, маса и др. директно, или след съответно преобразуване на физическата величина в деформация и нейното регистриране като механично преместване на определени точки от ЕДММ.

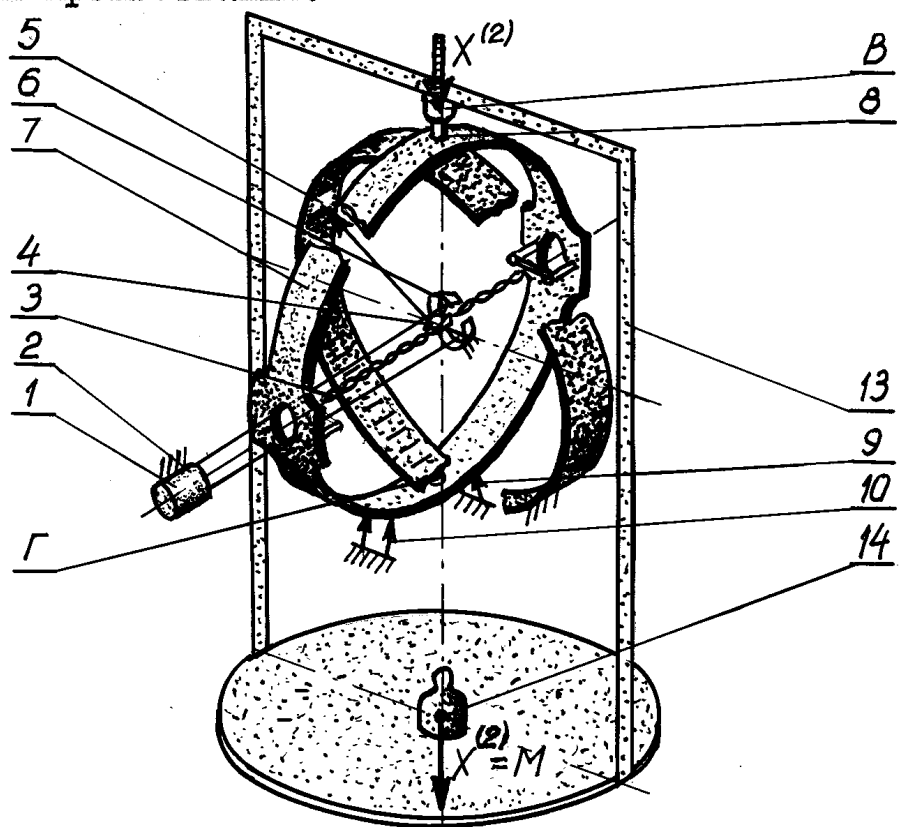
Схемата на устройството включва следните основни елементи: осветител 1 с монтиран в него кръгов растер 2; еластична, двойно усукана металическа лентичка 3[106, 107], с монтирано към нея плоско огледалце 4, закрепена към стойките 11 и 12 в т.А и Б; кръгова скала 5; конусно огледало 6; пръстен 7; измервателен накрайник 8; упори 9 и 10. В пръстена са пробити отвори Д и Е, като функционален е отворът Д, а отворът Е е въведен за еднородност на еластичните качества на двете сечения. Оста на пружинката 3 съвпада с центровете на отворите Д и Е, като правата АБ съвпада с: един от диаметрите на пръстена; осовата линия на вътрешната отразяваща повърхнина на конусното огледало 6, която е успоредна на падащия върху него светлинен сноп 13 и равнината на огледалцето 4. Правата ВГ е перпендикулярна на правата АБ и се явява диаметър на пръстена 7.

Действието на схемата включва: деформация на пръстена 7 от приложената към упора 8 измервана физична величина $X^{(k)}$, аналогично на вече разгледания процес (фиг.3-4) и регистрацията на измененията в размера АБ от УИММ - пружинно-оптичен механизъм.

За целта, предварително от осветителя 1 през кръговия растер 2 върху конусното огледало 6 е насочен формиран от



Фиг.3-5. Кинематична схема на лабораторен модел на СИ на механични премествания.



Фиг.3-6. Кинематична схема на лабораторен модел на СИ на сили (маса).

растера 2 светлинен сноп във вид на радиално разположени спрямо оста на пружинката светли и тъмни ивици. Отразени от конусното огледало 6, лъчите се събират в областта на огледалцето 4, като образуват светлинен конус, разделен последователно на тъмни и светли сектори, които пресичат оста на пружинката. Част от лъчите, попаднали пряко върху отразяващата повърхнина на огледалцето 4, се отклоняват и попадат върху кръговата скала 5.

При изменение в размера АБ, средният участък на пружинката 3, заедно с огледалцето 4 се завърта на определен ъгъл θ , при което отразеният от него светлинен поток се отклонява на ъгъл 2θ . Това отклонение се фиксира и отчита визуално по скалата 5.

Възможни са няколко схемни решения [65, 66, 96] за рационализиране конфигурацията на пръстена и оптичната схема. Съгласно [61] огледалцето 4 може да бъде заменено с огледално цилиндърче и нанесен растер върху неговата външна цилиндрична отразяваща повърхнина. При работа на преобразувателя, това цилиндърче се завърта около своята ос, която съвпада с оста на пружинката. Отразените тъмни и светли ивици се възприемат и обработват от фотоприемници като електроимпулси. Това допълнително увеличава предавателното отношение на УИМП, като ефекта е подробно разгледан в [61, 96].

Устройството е построено върху надежден и утвърден в практиката преобразувател 3 и е с теоретично увеличен на един порядък спрямо съществуващите устройства измервателен обхват, при запазени високи точностни параметри.

Схемното решение на устройството позволява вграждането като отчетни на различни измервателни преобразуватели или цели измервателни устройства.

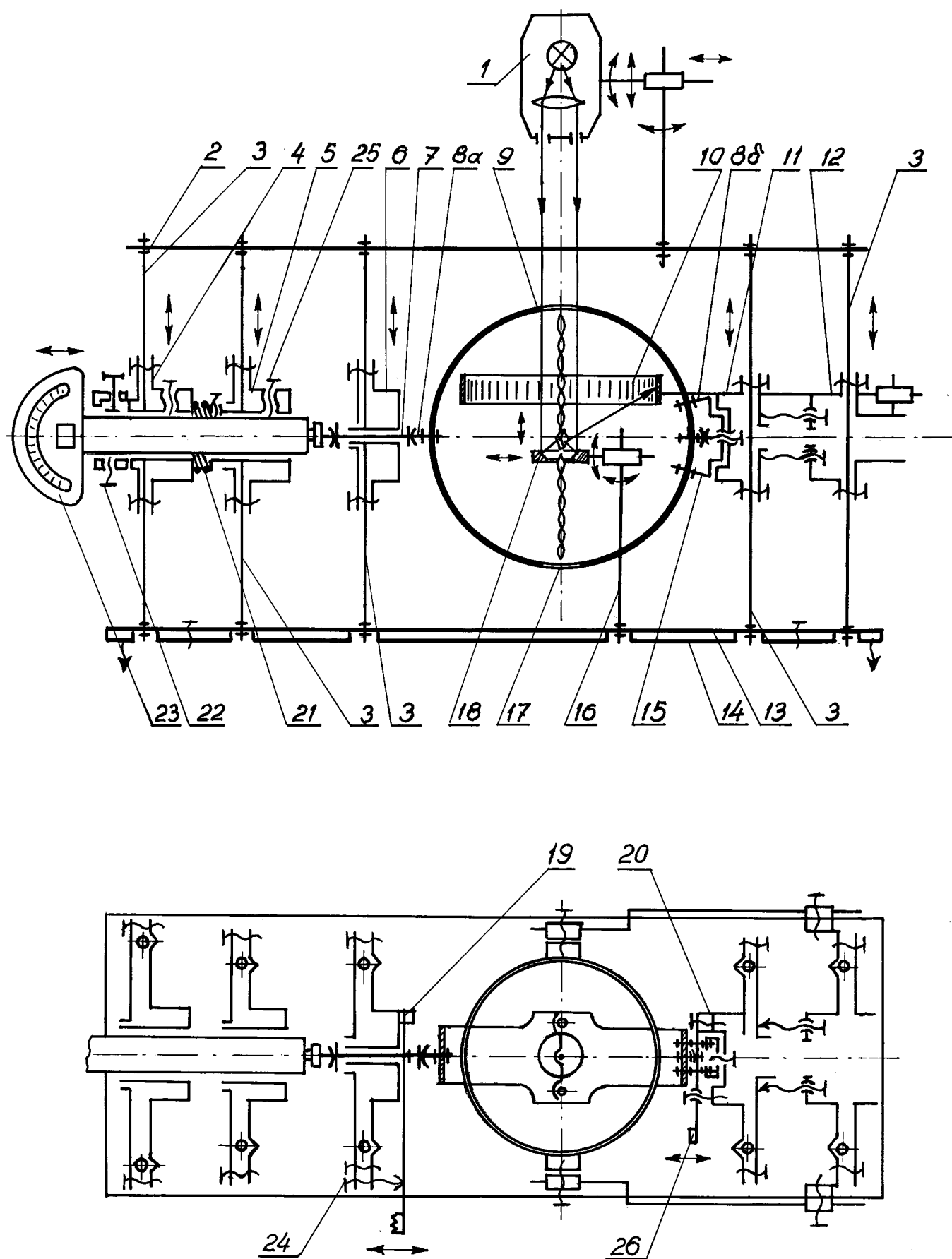
На базата на лабораторния уред е разработен стенд за експериментални изследвания. Неговата структурна схема е показана на фиг.3-7, а конструктивното изпълнение е описано в [96].

На схемата са означени: осветител 1; горна плоча 2; направляващи колонки 3; първи плъзгач 4; втори плъзгач 5; трети плъзгач 6; междинен прът 7; преден упор 8, а; заден упор 8, б; пръстен 9; кръгова скала 10; четвърти плъзгач 11; пети плъзгач 12; долна плоча 13; основа 14; междинна стойка 15; колонка 16; пружинка 17; конусно огледало 18; ариетир 19; ариетир за финна настройка 20; междинен пружиниращ възел 21; устройство за финна регулировка 22; образцово средство за измерване 23; винт 24 за финно преместване на ариетира 19; стопорен винт 25; винт 26 за финна регулировка на ариетира 20.

В зависимост от измерваната величина, експериментите на стенда се извършват по различен начин.

- При измерване на механични премествания с помощта на винта 24, свързан с ариетира, междинният прът се премества на единица линейна дължина X , отчетена по показанията на образцово СИ 23. Снема се отчет по кръговата скала. След това, се подава ново преместване X и целият процес на измерване протича във вече описаната последователност.

В случай, че измервателният обхват на образцовото СИ е по-малък от обхвата на устройството за реализиране на пълна проверка, се прилага методът на заместване, разгледан в гл.2. За целта, при изчерпване обхвата на образцовото СИ се извършва пренастройка на неговото първоначално положение или смяна на краишни мерки за дължина (КМД), поставена между неговия измервателен крайник и междинния прът със задължително



Фиг.3-7. Структурна схема на стенд за експериментални изследвания на лабораторен модел на СИ на механични премествания и сили (маса).

Нулиране на показанията преди започване на поредните измервания.

Изследването на метрологичните показатели може да се осъществи и посредством КМД. Тогава, вместо образцово СИ се закрепва задна пинола от хоризонтален оптиметър или дължиномер. Към нея се монтира сферичен накрайник, и след необходимата предварителна регулировка, се извършват замервания чрез поставяне на различни по размер КМД.

Следва да се подчертае, че и двата начина осигуряват спазването на принципа на Абе в процеса на измерване.

- При измерване на сили или маса към упора 8,а. се прилагат образцови силови въздействия, реализирани с комплект от образцови теглилки с маса M , както е показано на кинематичната схема от фиг.3-6. Означенията на елементите са аналогични на тези от фиг.3-5.

При това измерване, стендът заема в пространството такова положение, при което върху упора 8 се окачва блюдо 13. Върху него, при извършване на експерименти, се поставят теглилки с маса M , и под действие на приложената към упора 8 маса (сила), пръстенът 7 се деформира на определена величина. Процесът на нейното отчитане протича, както при измерване на механични премествания. Необходимо условие за точни измервания е прецизното нивелиране на стенда така, че отклонението между вектора на силата $P(X^{(2)})$ и правата ВГ да е минимално. В този случай ще се гарантира спазването на принципа на Абе и максимална достоверност на получаваните резултати.

Реализирането на допълнителни въздействия върху пръстена при формиране и измерване на механични премествания и сили се извършва съгласно фиг.3-4,б. Те се прилагат върху упора 8, б. (фиг.3-7) чрез ариетира 25, който допълнително е снабден

с винт, контактуващ с четвърти плъзгач 11. Преди началото на експеримента върху пръстена се прилага предварително въздействие с определено значение. Това осигурява реализирането на положителни и отрицателни корекции при експериментиране за целия измервателен обхват на устройството.

Така разгледаните кинематични схеми на експерименталния модел и стенда за експериментални изследвания са схемни решения на унифицирани модулни устройства за реализиране на гама СИ на различни по природа физични величини с широки метрологични и експлоатационни възможности.

3.2. Точностен анализ

В табл.3.1. са представени зависимости и крайни значения за преобразователните функции на пръстена спрямо: $X^{(k)} - i^{(k)}$ и спрямо $X_{1д}^{(k)} - i_{1д}^{(k)}$; на предавателната функция на ДУМП - $i_0^{(k)}$ и получените резултати за $\bar{y}^{(k)}$, $X^{(k)}_{\text{макс.}}$ и $\bar{y}^{(k)}_{\text{макс.}}$ съгласно [96, 106, 107]. Тук при измерване на механични премествания $k=1$, а при измерване на сили $k=2$.

Окончателните стойности са определени при следните изходни значения:

- пръстен (ЕДПМП): външен диаметър - 80 мм; вътрешен - 79,4 мм; $\alpha = 14^\circ$; ширина - 12 мм; ширина при отворите А и Б - 26 мм; ϕ А, Б = ϕ 10 мм; материал - стомана.

- скала: диаметър - ϕ 70 мм; разстояние между две скални съседни шриха ≈ 1 мм.

- пружинка: от оптикатор 0,2 П (0,1 П).

Преобразователни функции на ЕДПМП (пръстен)
спрямо $X^{(k)}$ и $X_{д}^{(k)}$

Табл.3.1.

При измерване на механични премествания		
Пара- метър	Вид на предавателната функция	Стой- ност
1	2	3
$i^{(1)}$	$\frac{1}{2} \frac{[\sin^2 \bar{\alpha} + 2 + 1,2732(\bar{\alpha} \cdot \sin \bar{\alpha} + \cos \bar{\alpha} - 1) - 4 \sin \bar{\alpha}]}{[\sin \bar{\alpha} \cdot \cos \bar{\alpha} + \bar{\alpha} + 1,2732(\bar{\alpha} \cdot \sin \bar{\alpha} + \cos \bar{\alpha} - 1) - 2 \sin \bar{\alpha}]}$ $= \frac{z_1}{z_2} \quad \bar{\alpha} = 166^\circ$	0,9383
$i_o^{(1)}$	$0,0286 \cdot E_1 \cdot r_o [4 G \lambda (1 + \nu) \cdot b_1^2 \cdot r_o^2 \cdot \lambda^{-1}]^{-1}$	3 % МКМ
$i_{оск}^{(1)}$	$i_o^{(1)} \cdot 2 \pi r_{ск} \cdot 180^{-1}$	4,2 мм/МКМ
$\bar{y}_{оск}^{(1)}$	$X^{(1)} \cdot i^{(1)} \cdot i_{оск}^{(1)}$	= 4 · X ⁽¹⁾ мм
$\bar{y}_{макс}^{(1)}$	$\bar{\theta}_{пр} \cdot (i_o^{(1)})^{-1} \quad (\bar{\theta}_{пр} = 0,856 \theta_{пр})$	226 МКМ
$X_{макс}^{(1)}$	$\bar{y}_{макс}^{(1)} \cdot (i^{(1)})^{-1}$	241 МКМ
$\theta_{пр}$	$G_{ш} \cdot r_o \cdot [8 \pi \cdot G \cdot \lambda (1 + 0,38 b_1^2 \cdot r_o^2 \cdot \lambda^{-1})]^{-1}$	792°
$i_{1д1}^{(1)}$	Стойността е получена след пресмятане на ЕИМ чрез програма "VIMKE", разработена във ВТУ "Ангел Кънчев" - Русе. Резултатите са представени на фиг.3-8. На нея последователно са означени криви на: 1-ненатоварено, 2-натоварено с X ⁽¹⁾ -2 и 3 с X _д ⁽¹⁾ състояние на пръстена.	0,9423
При измерване на сили (маса)		
$i^{(2)}$	$\frac{1}{R} \frac{\Delta z}{\Delta x} = \frac{R \cdot \delta_{пр}}{2 E_2 \cdot J} [\sin^2 \bar{\alpha} + 2 + 1,2732(\bar{\alpha} \cdot \sin \bar{\alpha} + \cos \bar{\alpha} - 1) - 4 \sin \bar{\alpha}]$ $\bar{\alpha} = 166^\circ$	160 МКМ/Н
$i_o^{(2)}$	$i_o^{(1)}$ (усилието при опън на пружинката се пренебрегва)	3°/мм
$\bar{y}_{оск}^{(2)}$	$X^{(2)} \cdot i^{(2)} \cdot i_{оск}^{(2)}$	672 μ ² мм
$i_{оск}^{(2)}$	$i_{оск}^{(1)}$	4,2 мм/МКМ
$X_{макс}^{(2)}$	$\bar{y}_{макс}^{(2)} \cdot (i^{(2)})^{-1}$	1,41 Н
$\bar{y}_{макс}^{(2)}$	$\bar{y}_{макс}^{(1)}$	226 МКМ
$i_{1д1}^{(2)}$	$\frac{1}{R_{сд}} \frac{\Delta z}{\Delta x} = \frac{R \cdot \delta_{пр}}{2 E_2 \cdot J} [\sin^2 \alpha + 2 + 1,2732(\alpha \cdot \sin \alpha + \cos \alpha - 1) - 4 \sin \alpha]$ $\alpha = 14^\circ$	342 МКМ/Н

където: $\alpha = \pi - \omega = 166^\circ$; $\omega = 14^\circ$

- Параметри на пружинката:

- $r_0 = 2\pi \cdot (t_L)^{-1}$; t_L - стъпка на усукване = 2;

E_1 (G) - модули на еластичност (приплъзване) на материала = $113 \cdot 10^3$ Мпа ($44 \cdot 10^3$ Мпа); b_1 (a) - половин дебелина (ширина) [0,06 (0,1)] на сечението; $\gamma = (\theta; 1) = 0,32 \div 0,4$ - параметър (коефициент на формата на напречното сечение (=0,34); θ = ъгъл на завъртане на средния участък; l_{II} - дължина на един усукан край (=18 мм); $\lambda = a_1^2 \cdot b_1^2$ - характеристика на относителната дебелина на сечението (=0,00445); $\theta_{пр} = G_{II} \cdot r_0 \cdot l \cdot [8\pi G \lambda (1 + 0,38 \cdot b_1^2 \cdot r_0^2 \cdot \lambda^{-1})]^{-1}$ - пределен ъгъл на завъртане на средния участък; G_{II} - граница на еластичност на материала.

- Параметри на пръстена:

- $R_{cp} = 39,6$ мм - среден радиус на пръстена; - $E_2 = 200$ Мпа/мм² - модул на еластичност на материала;

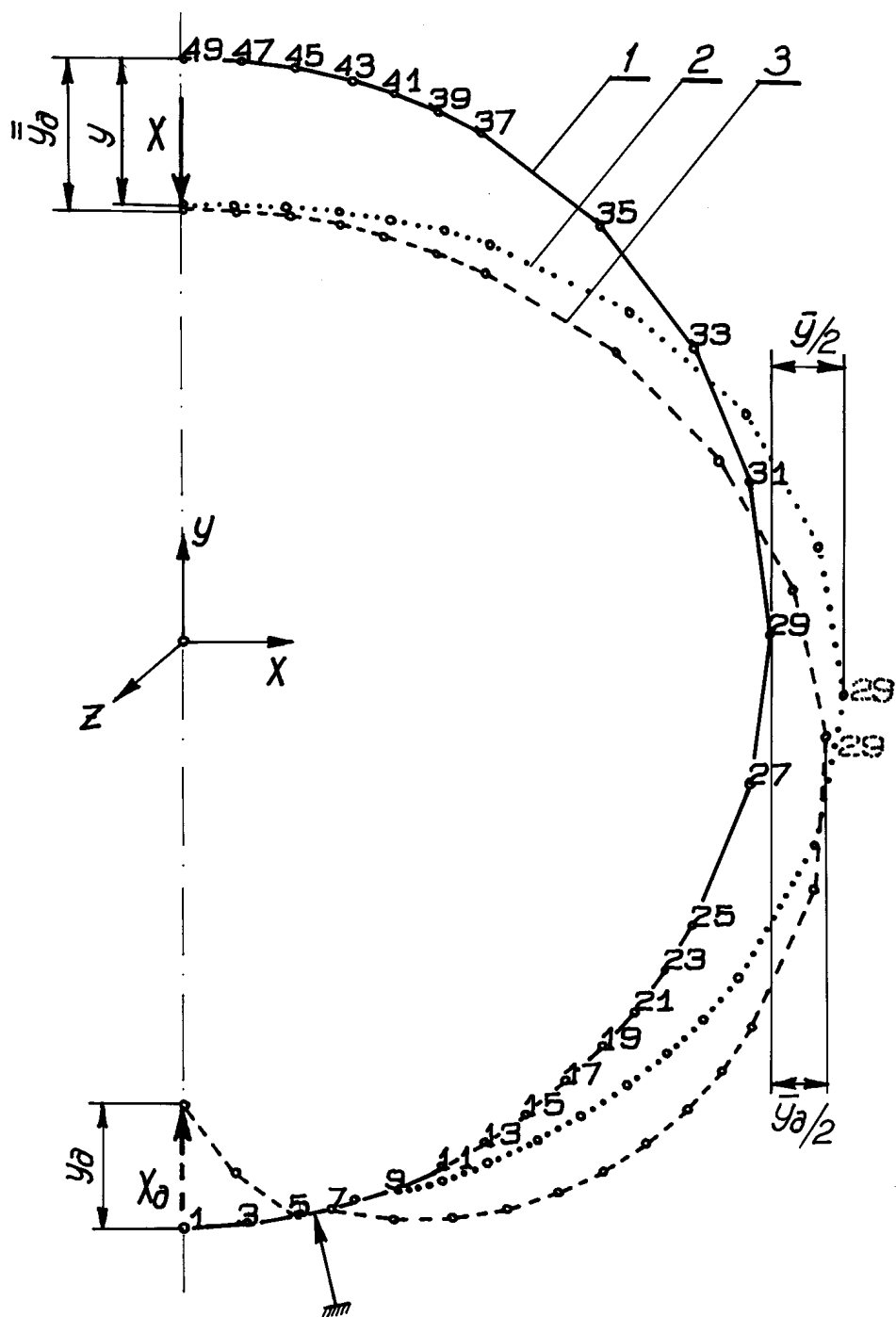
$J = H \cdot b^3 \cdot 12^{-1}$ - инерционен момент на сечението = 0,512 мм⁴; $H = 12$ мм; $b = 0,8$ мм.

- Параметри на устройството:

$R_{ск}$ - радиус на отчетната скала.

Получените резултати показват, че теоретичната стойност на скално деление на устройството при измерване на механични премествания ще бъде от порядъка на 0,24 мкм, при диапазон на измерване 241 мкм, а при измерване на сили (маса) съответно: - $0,18 \cdot 10^{-2}$ Н и 1,41 Н.

Или по сравнение със съществуващите в практиката СИ с аналогичен преобразувател (двойно усукана металическа лентичка) - например оптикатор 0,2 П, неговият измервателен обхват е по-голям около 5-6 пъти.



Фиг.3-8. Конфигурации на ЕДИМН (пръстен), получени и построени чрез програма "VIMKE" в: 1) изходно, недеформирано състояние; 2) след прилагане на $X^{(K)}$ и 3) след прилагане на $X^{(K)}$ по схемата на Фиг.3-4, б.

Точностният анализ е изграден върху кинематичната схема на експерименталния модел (фиг.3-7), като се изследва влиянието на самостоятелно обособени елементи от нея (детайли, звена, възли и др.) върху метрологичните параметри на измервателния сигнал. За целта, устройството се разглежда като съвкупност от последователно свързани: ОСИ, възел "междинен прът" (МП), възел ЕДМП, проверявано устройство (ПУ) и възел допълнителни елементи на оптичната система (ДЕОС) - фиг.3-11.

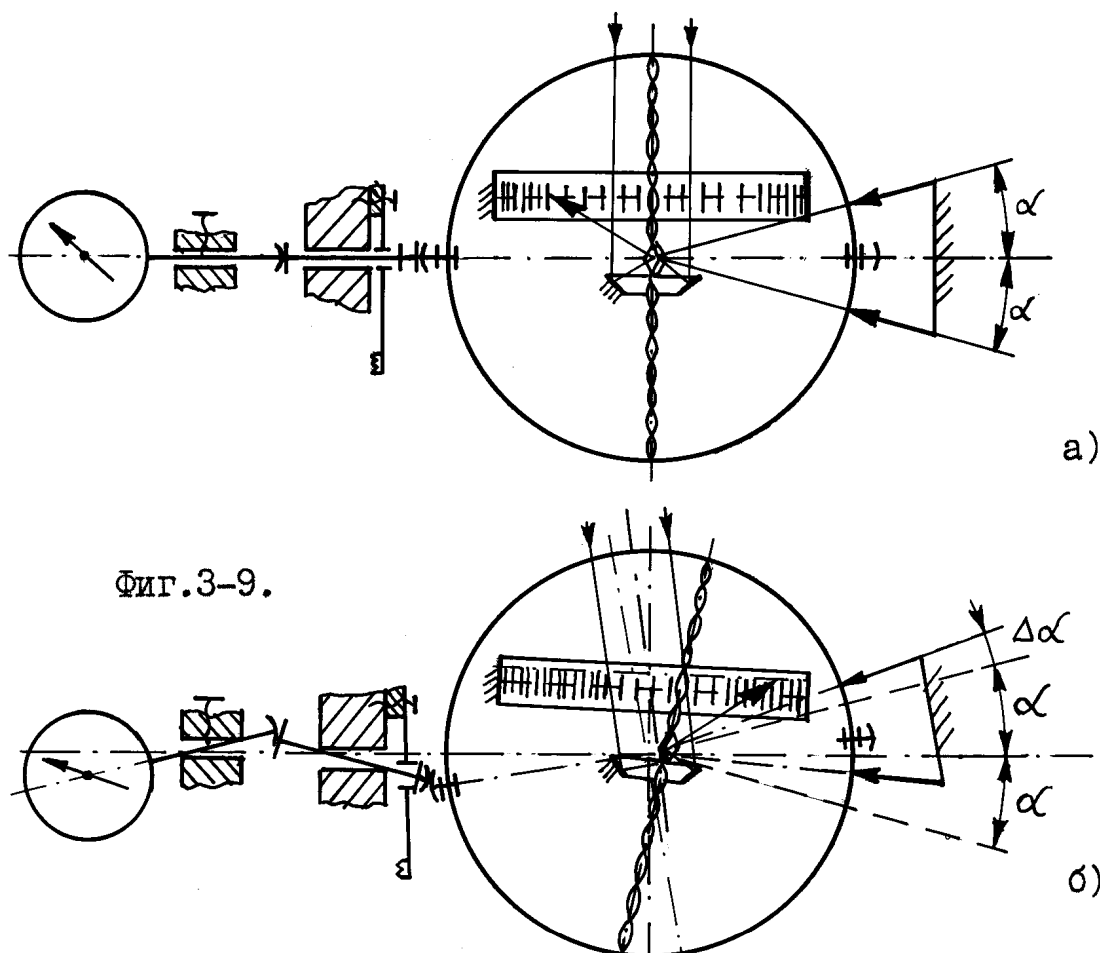
Общото количество фактори, които влияят върху точността на устройството е значителен, но част от тях се елиминират чрез въвеждане на допълнителни регулировки.

На практика, за определени, нормативно регламентирани външни условия, най-съществено влияние върху точността оказват отклоненията във взаимното разположение на основните елементи от реалната кинематична верига (фиг.3-9,б) и (фиг.3-10, б), спрямо идеалната (фиг.3-9,а) и (фиг.3-10а).

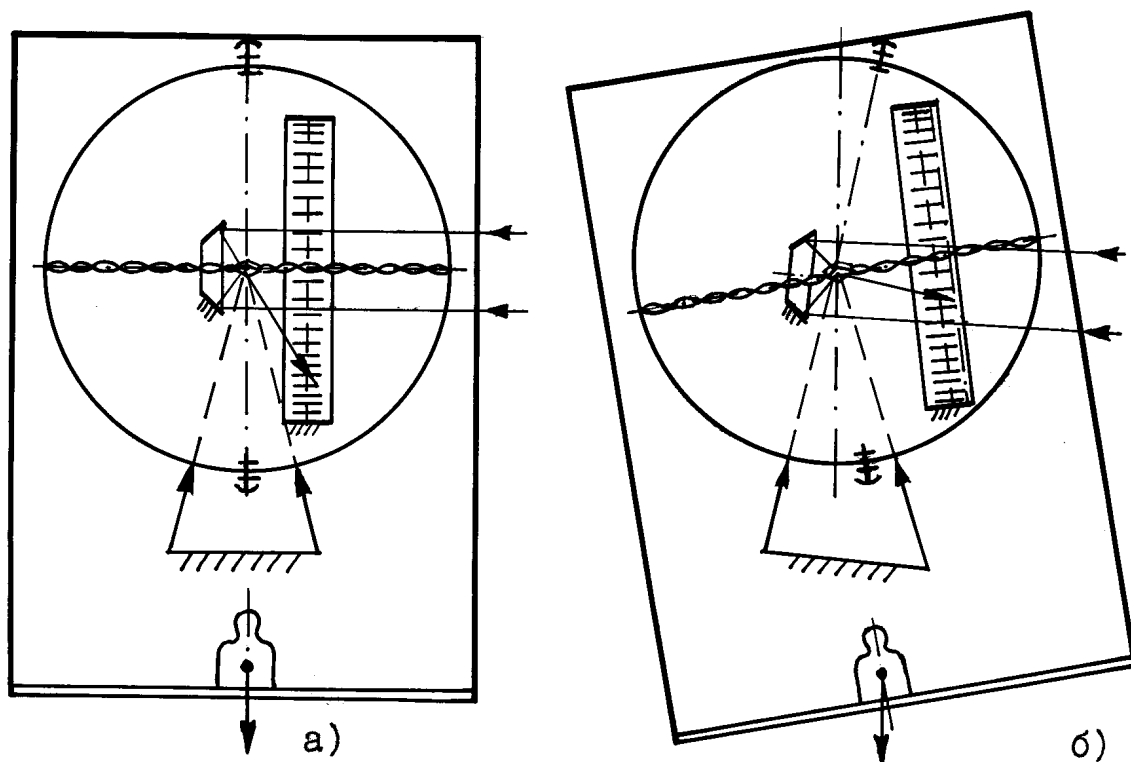
Последователността на получаваните основни грешки в стойността на измервателния сигнал при неговото преобразуване от всяко отделно звено на кинематичната верига и предаване до крайното отчетно звено е представена на фиг.3-11.

В тази връзка, се разглеждат: грешка $\Delta X^{(k)}$ в образцовата физична величина $X^{(k)}$, до нейното прилагане към ПУ, формирани от ОСИ и МП; грешка $\Delta i^{(k)}$ в предавателната функция $i_0^{(k)}$ на отчетното устройство (по същество ПУ), формирана от двойноусуканата металическа лентичка (ДУМЛ) и допълнителните елементи на отчетната система (ДЕОС).

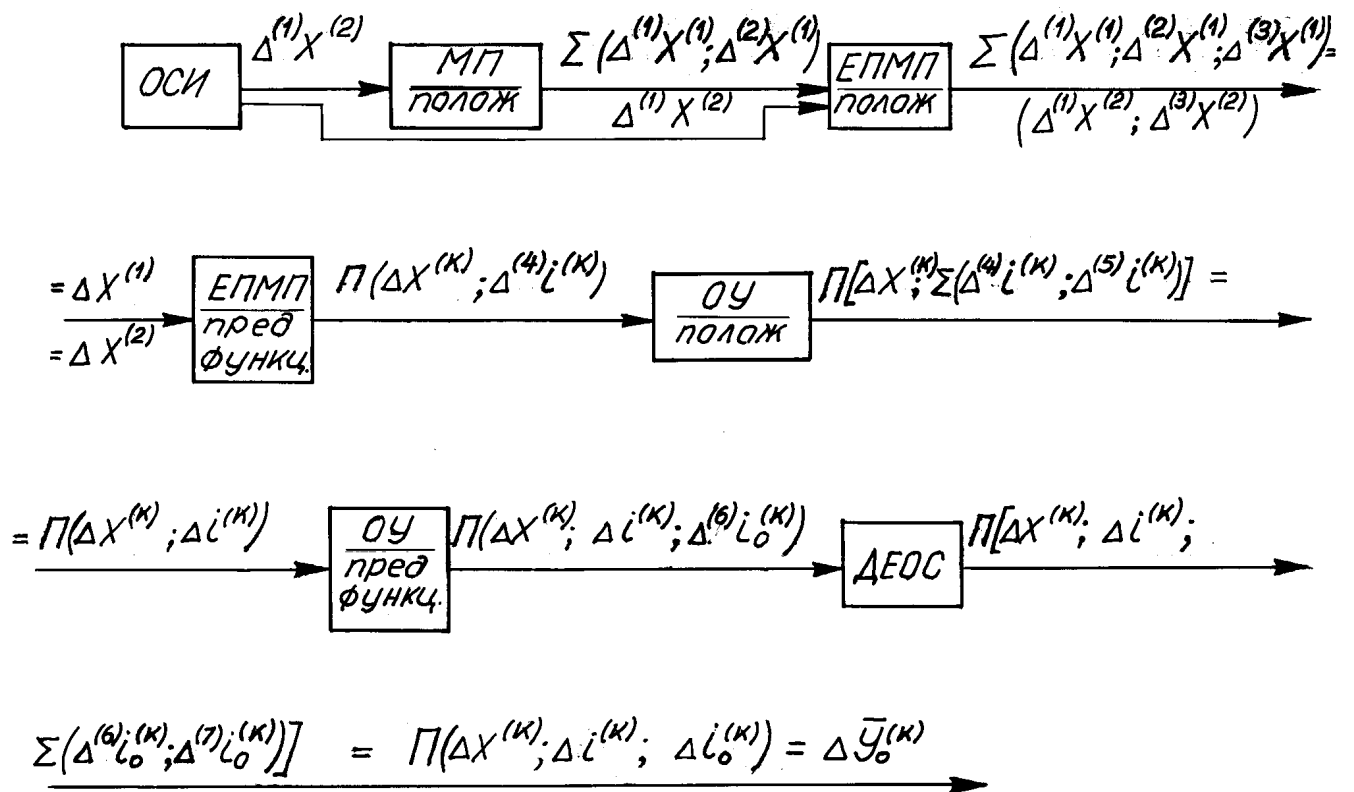
Тук за грешките възникнали при измерване на механични премествания $k=1$ и при измерване на сили (маса) $k=2$.



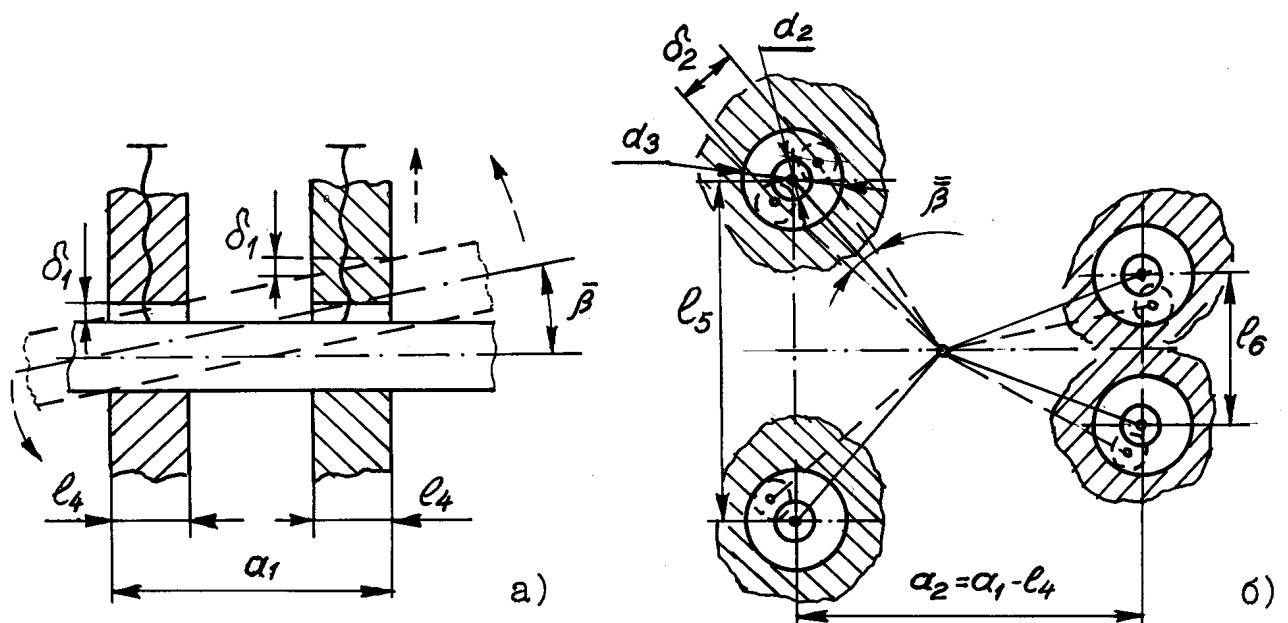
Идеална (а) и реална (б) при отчитане отклоненията във взаимното разположение на отделните елементи кинематична верига на стенда за експериментални изследвания при измерване на механични премествания (Фиг.3-9) и сили (маса) (Фиг.3-10).



Фиг.3-10.



Фиг.3-11. Основни елементи от кинематичната верига на стенда за експериментални изследвания и последователност на формиране и предаване на грешките при измерване.



Фиг.3-12. Отклонения в положението на ОСИ, формиращо образцово механично преместване, при наличие на хлябини δ_1 (а) и δ_2 (б).

На фиг.3-12 ÷ 3-30 в графичен вид са представени идеалните (с плътна линия) и реални (с пунктир) положения на отделните елементи от кинематичната верига, като грешките $\Delta X^{(k)}$; $\Delta i^{(k)}$ и $\Delta i_o^{(k)}$ се формират както следва:

Грешка $\Delta X^{(k)}$ включва:

1. Грешка при предаване на физичната величина от образцовото СИ - $\Delta^{(1)} X^{(k)}$. Определя се от:

1.1. Собствена грешка на ОСИ - $\Delta_1^{(1)} X^{(k)}$. Приема се по атестат.

1.2. Грешка от ъглово отклонение β между направлението на действие на X и измервателната линия на ОСИ - $\Delta_2^{(1)} X^{(k)}$ - фиг.3-12. Включва:

При измерване на механични премествания

- Ъглово отклонение $\bar{\beta}$ възникващо при изместване опорите на ОСИ при монтаж, поради наличие на хлабини δ_1 (фиг. 3-12,а) в местата за закрепване на опорите към горна и долна плоча (фиг.3-7).

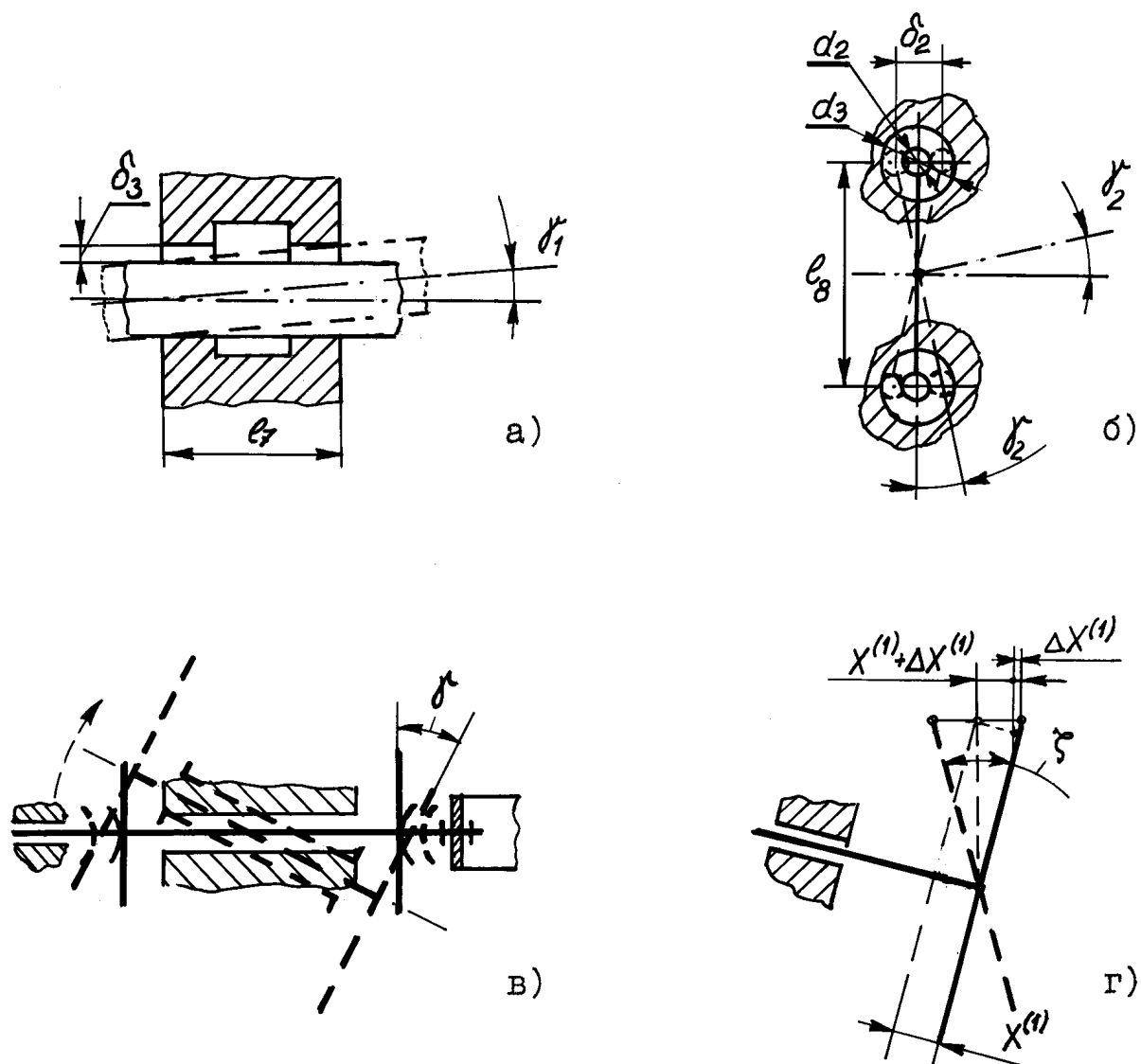
- Ъглово отклонение $\bar{\beta}$ възникващо при завъртане на цялостната система "ОСИ-опори" при монтаж около общ център, вследствие наличието на хлабини " δ_2 " в местата за закрепване на опорите към горна и долна плоча (фиг.3-7) и (фиг.3-12б)

При измерване на сили

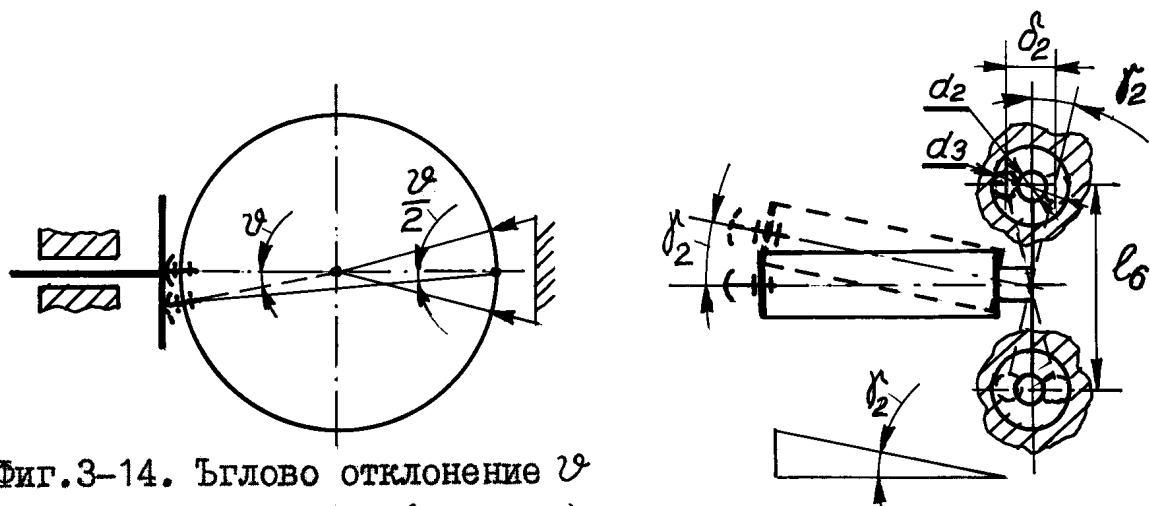
- Ъгови отклонения $\alpha_1^{(y)}$ и $\alpha_2^{(y)}$ между вектора на силата P и общата осова линия на модела, възникващи от неправилно положение в пространството (фиг.3-29) и (фиг.3-30).

2. Грешка в положението на МП спрямо направлението на X - $\Delta^{(2)} X^{(1)}$ - само при измерване на механични премествания (фиг.3-13). Включва:

2.1. Ъглово отклонение δ_1 , възникващо при изместване на опората при монтаж поради наличие на хлабини δ_3 (фиг.3-13,а).



Фиг.3-13. Отклонения в положението на МП, предизвикано от хлабини: δ_3 (а), δ_2 (б), $\delta_3 + \delta_2$ (в) и отклонение ζ от успоредността на двете работни равнини на МП (2).



Фиг.3-14. Ъглово отклонение ψ на упора върху ЕДММ(пръстен)

Фиг.3-15. Отклонение в положението на пръстена от хлабини δ_2 в опорите.

2.2. Ъглово отклонение δ_2 , възникващо при завъртане на системата "МП-опори" около общ център, вследствие хлабини δ_2 в местата за закрепване на опората към горна и долна плоча (фиг.3-7) и (фиг.3-13,б).

2.3. Ъглово отклонение ζ във взаимната паралелност на двете работни плоскости на МП и неговото влияние върху предаваната стойност на X при наличие на $\Delta\delta$ (фиг.3-13, в и г).

3. Грешка в положението на пръстена (ЕПМП), спрямо направлението на $X - \Delta^{(3)}X^{(k)}$. Определя се от:

3.1. Ъглово отклонение ν в положението на упора 8-а (фиг.3-7) върху пръстена спрямо неговия център $-\Delta_1^{(3)}X^{(k)}$ (фиг.3-14).

3.2. Грешка $\Delta_2^{(3)}X^{(k)}$ при ъглово отклонение δ_2 (завъртане) на системата "пръстен-опора" около общ център, вследствие хлабини " δ_2 " в местата за закрепване на опората към горна и долна плоча (фиг.3-7) и (фиг.3-15).

3.3. Грешка $\Delta_3^{(3)}X^{(k)}$ при наличие на отклонения в опорните точки на стойката върху пръстена. Определя се от:

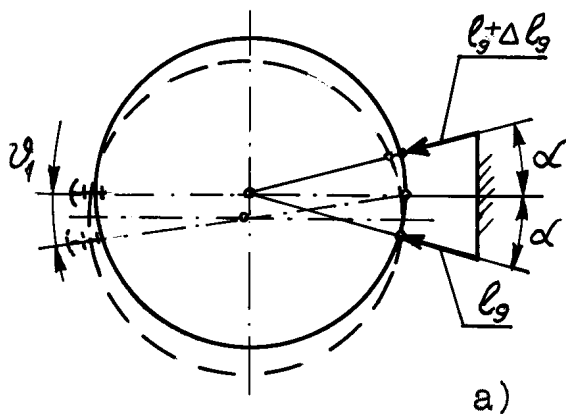
- Грешка $\Delta_{3(1)}^{(3)}X^{(k)}$ от ъглово отклонение ν_1 на упора при наличие на разлика Δl_9 в дължините l_9 на опорите (фиг.3-16, а и б);

- Грешка $\Delta_{3(2)}^{(3)}X^{(k)}$ от: ъглово отклонение α_2 на упора 8-а (фиг.3-7), вследствие ъглово отклонение α на една от опорите (фиг.3-17,а), и ъглово отклонение α_1 на упора, вследствие еднопосочно ъглово отклонение α_1 на двете опори върху пръстена (фиг.3-17,б).

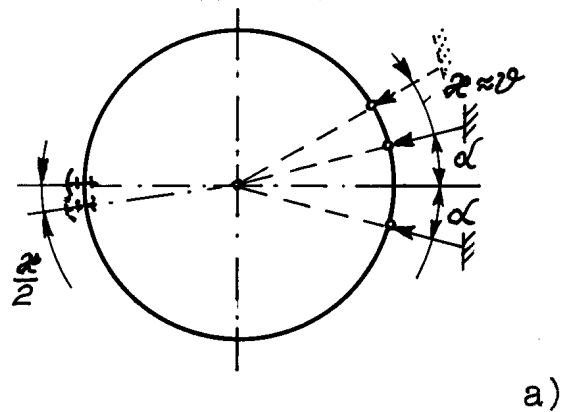
- Грешка $\Delta_{3(3)}^{(3)}X^{(k)}$, възникваща под влияние на общото тегло на пръстена - подлежи на експериментална проверка.

Грешка $i^{(k)}$ включва:

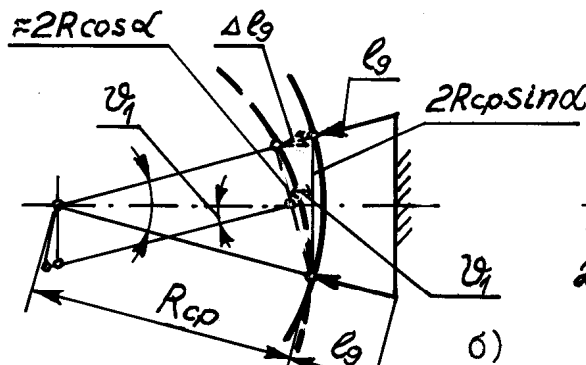
4. Грешка в предавателната функция $i^{(k)}$ на пръстена



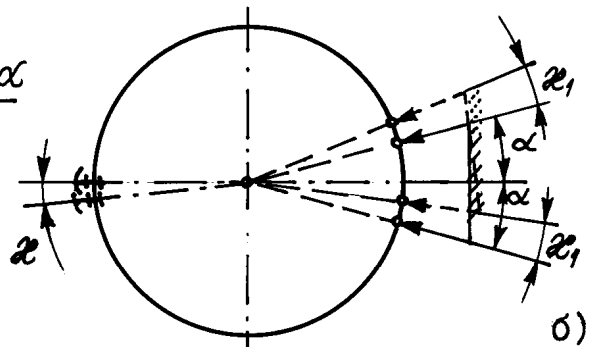
a)



a)



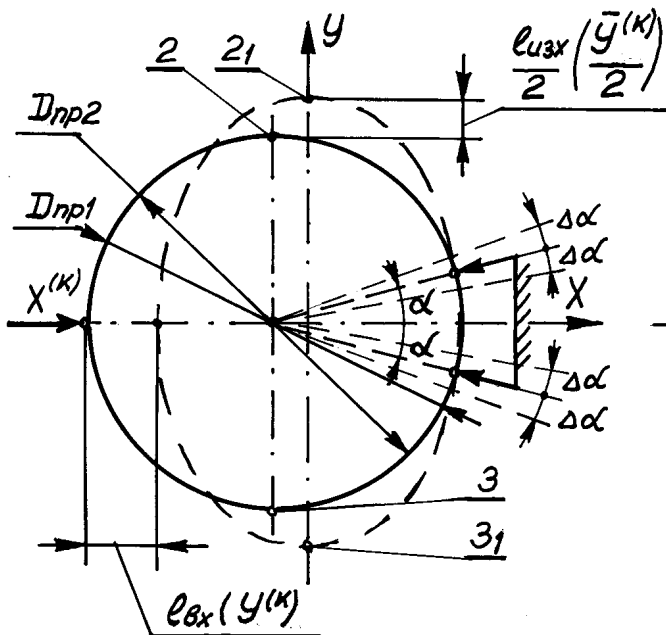
б)



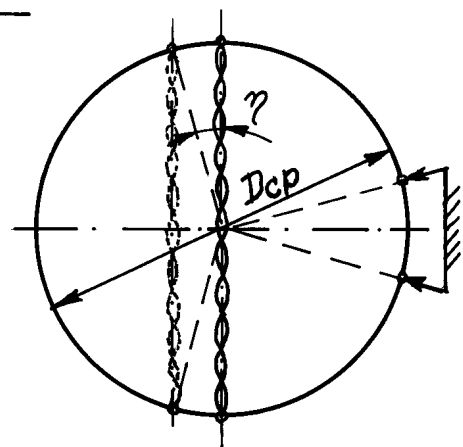
б)

Фиг.3-16. Отклонение в положението на пръстена: а) от разлика l_g в дължините на опорите и б) графичен анализ на грешката.

Фиг.3-17. Отклонение в положението на пръстена при: а) преместване x на едната опора и б) при преместване x_1 на двете опори.



Фиг.3-18. Основни параметри на пръстена и отклонение $\Delta\alpha$ в стойността на ъгъл α .



Фиг.3-19. Отклонение в приложните точки на отчетното устройство (ДУМЛ).

$\Delta^{(4)}_{i(k)}$. Определя се от:

4.1. Грешка $\Delta^{(4)}_{1(i(k))}$ при разнопосочни ъглови отклонения на стойките върху пръстена (фиг.3-18).

4.2. Грешка $\Delta^{(4)}_{2(i(k))}$ от отклонение в геометричната форма на пръстена. Определя се от:

- Грешка $\Delta^{(4)}_{2(1)} i^{(2)}$ (само при измерване на сила (маса) от отклонение в размера на средния диаметър $D_{ср}$ на пръстена, възникнали вследствие технологични отклонения, напрежения в материала, температурни въздействия и др. (фиг.3-19).

- Грешка $\Delta^{(4)}_{2(2)} i^{(k)}$, възникваща при отклонение в размерите на изходния диаметър (диаметъра, по който е закрепена пружинката) поради неправилно разположение на опорните точки на стойките 11 и 12 (фиг.3-5) върху пръстена, при което възниква ъглово отклонение γ (фиг.3-19).

- Грешка $\Delta^{(4)}_{2(3)} i^{(k)}$ във входящия диаметър (диаметъра, по който действа X поради отклонение в разположението на упора 8-а (фиг.3-7) върху пръстена (фиг.3-14).

4.3. Грешка $\Delta^{(4)}_{3(i(2))}$ от отклонение ΔE_2 в E_2 само при измерване на сили, съгласно зависимостта за $i^{(2)}$ (табл.3.1.).

4.4. Грешка $\Delta^{(4)}_{4(i(2))}$ от отклонение ΔJ в J само при измерване на сили, съгласно зависимостта за $i^{(2)}$ (табл.3.1.).

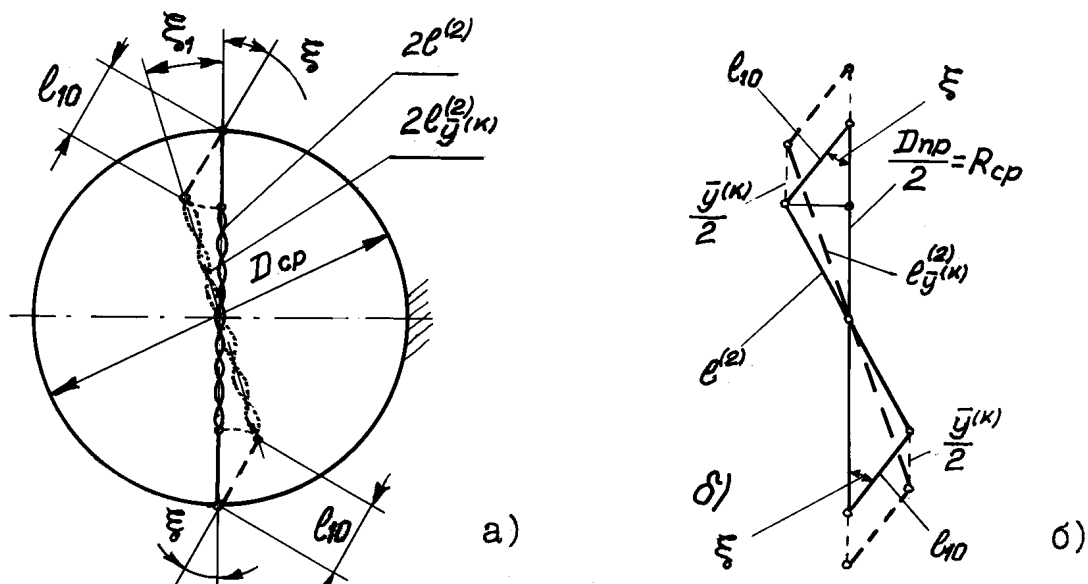
5. Грешка $\Delta^{(5)}_{i(k)}$ в положението на пружинката (ДУМЛ).

Определя се от:

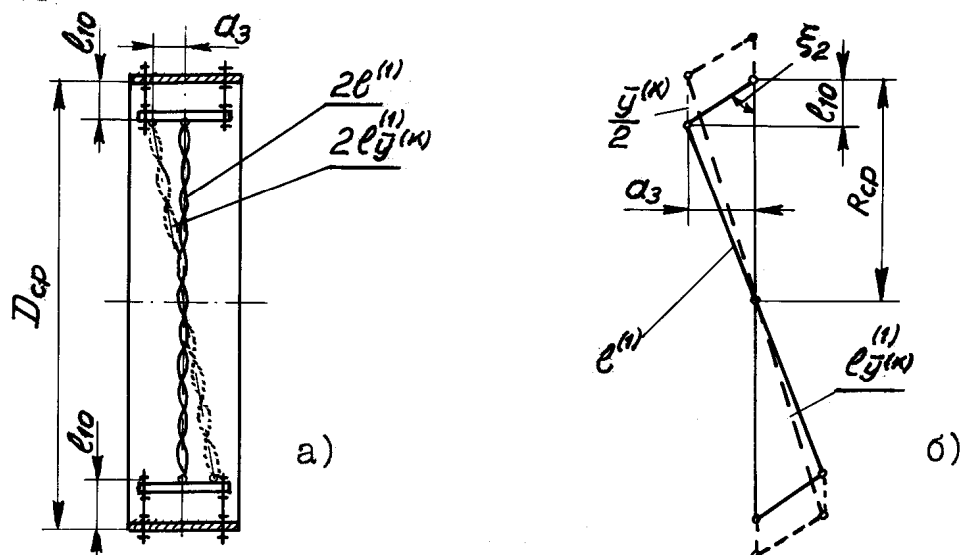
5.1. Ъгловото отклонение ξ_1 на оста на пружинката спрямо изходящия диаметър на пръстена, които формира грешка $\Delta^{(5)}_{1(i(k))}$.

Определя се от:

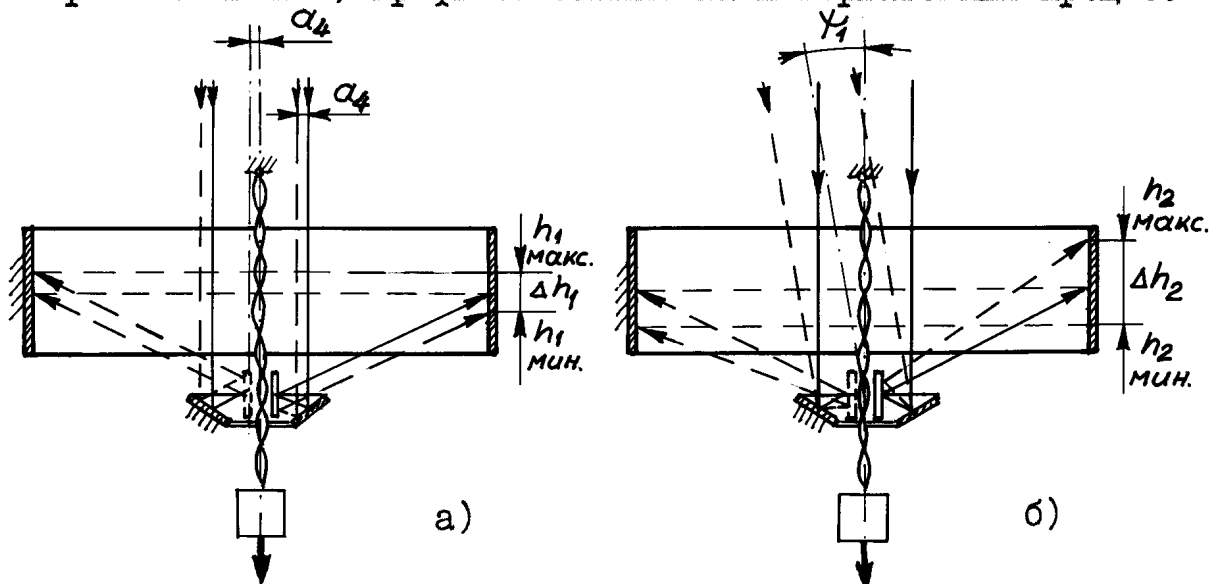
- Грешка $\Delta^{(5)}_{1(1)} i^{(k)}$ внасяна в процеса на измерване (при изменение в дължината на изходящия радиус (диаметър) на величина $\bar{y}^{(k)}/2$ при наличие на ъглово отклонение ξ на стойките 11 и 12 (фиг.3-5) в указаното на фиг.3-20, а и б, направление. Тук:



Фиг.3-20. Отклонение на ДУМЛ при: а) ъглово отклонение ξ на стойките ℓ_{10} и б) графичен анализ на измервателния процес.



Фиг.3-21. Отклонение на ДУМЛ при: а) отклонение " a_3 " на нейните опорни точки и б) графичен анализ на измервателния процес.



Фиг.3-22. Отклонения на оста на светлинния източник на СЕМ от общата ос на модела: а) успоредно " a_4 " и б) ъглово " ψ_1 ".

$2l^{(2)}$ е дължина на пружинката след монтаж, а $2l_{\bar{y}}^{(2)}$ е дължина на пружинката след увеличаване на изходящия диаметър на пръстена на величина $\bar{y}^{(k)}$.

– Грешка $\Delta_{1(2)}^{(5)} i^{(k)}$ внасяна в процеса на измерване при изменение $\bar{y}^{(k)}$ на изходящия радиус при наличие на отклонение "а₃" на стойките 11 и 12 (фиг.3–5) в указаното на фиг.3–21, а и б, направление. Тук: $2l^{(1)}$ е дължина на пружинката след монтаж, а $2l_{\bar{y}}^{(1)}$ е дължина на пружинката след увеличаване изходящия диаметър на пръстена на величина $\bar{y}^{(k)}$.

Грешка $\Delta i_0^{(k)}$ включва:

6. Грешка $\Delta^{(6)} i_0^{(k)}$ в предавателната функция $i_0^{(k)}$ на пружинката. Определя се от нейните конкретни геометрични параметри, физични свойства на материала и др. По същество се явява собствена грешка на кое да е СИ (систематична, случайна и т.н.) монтирано в пръстена. В конкретния случай за максимално значение на грешката, се приема граничната стойност, изнесена в [106, 107].

7. Грешка $\Delta^{(7)} i_0^{(k)}$ внасяна от отклонения в геометричната форма и разположението на ДЕОС на устройството. Включва:

7.1. Грешка $\Delta_1^{(7)} i_0^{(k)}$ формирана при наличие на отклонение в геометричната форма и разположението на оста на светлинния източник (оста на светлинния сноп лъчи) спрямо общата ос на останалите елементи от оптичната система – конусно огледало, плоско огледалце, закрепена върху пружинката (съвпада с нейната ос), вътрешна цилиндрична повърхност на отчетната скала. Определя се от:

– Наличие на паралелно отклонение "а₄" (фиг.3–22,а), при което в процеса на измерване (завъртане на плоското огледалце съвместно с централния участък на пружинката около нейната ос) се наблюдава вертикално изместване (прецесия) на свет-

линния индекс по кръговата скала с максимално отклонение Δh_1 .

- Ъглово отклонение ψ_1 (фиг.3-22,б) с вертикална прецесия на светлинния индекс - h_2 .

7.2. Грешка $\Delta_2^{(7)} i_0^{(k)}$ в положението на оста и формата на конусното огледало спрямо общата ос на пружинката и кръговата скала. Определя се от:

- Паралелно отклонение " a_5 " (фиг.3-23,а) с вертикална прецесия Δh_3 .

- Ъглово отклонение ψ_2 (фиг.3-23,б) с вертикална прецесия Δh_4 .

- Отклонение $\Delta \rho$ в централния ъгъл ρ на конусното огледало (грешка при изработка) с вертикално отклонение на светлинния индекс Δh_5 (фиг.3-24).

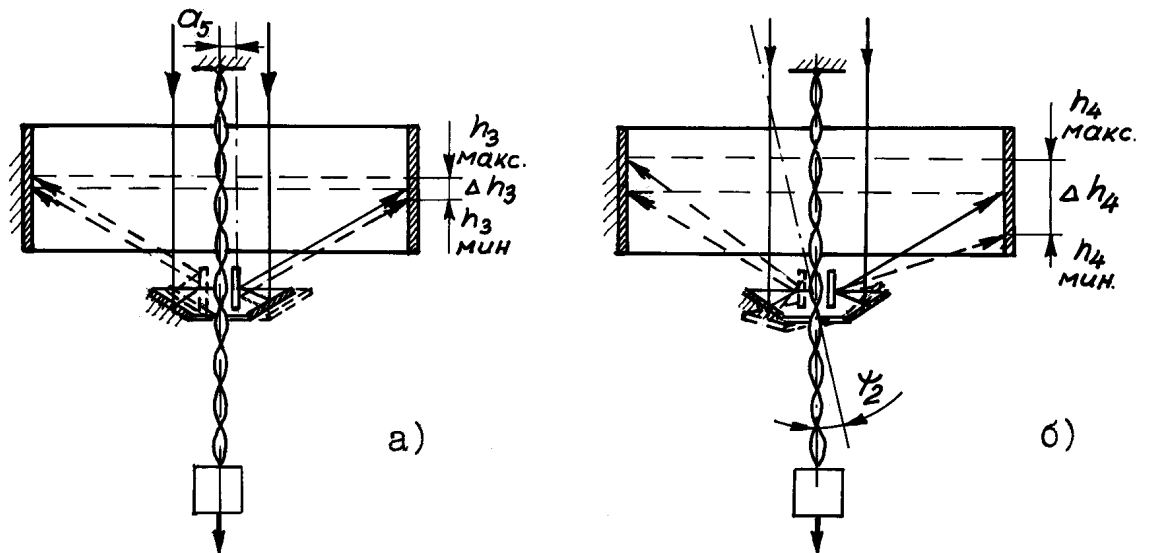
7.3. Грешка $\Delta_3^{(7)} i_0^{(k)}$ в положението на цялостната оптична система спрямо оста на пружинката. Определя се от:

- Едновременно паралелно отклонение " a_6 " (фиг.3-25,а) с вертикална прецесия Δh_6 и ъглово отклонение ψ_3 (фиг.3-25,б) с вертикална прецесия Δh_7 , на системата "светлинен източник-конусно огледало" спрямо общата ос на пружинката и кръговата скала.

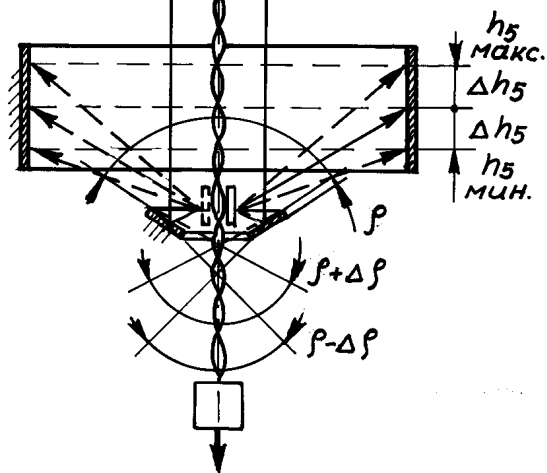
- Едновременно паралелно отклонение " a_7 " (фиг.3-26,а) с вертикална прецесия Δh_8 и ъглово отклонение ψ_4 (фиг.3-26,б) с вертикална прецесия Δh_9 на системата "светлинен източник-конусно огледало-кръгова скала", спрямо оста на пружинката.

7.4. Грешка $\Delta_4^{(7)} i_0^{(k)}$ в положението на оста на кръговата скала спрямо общата ос на пружинката, конусното огледало и светлинния източник. Определя се от:

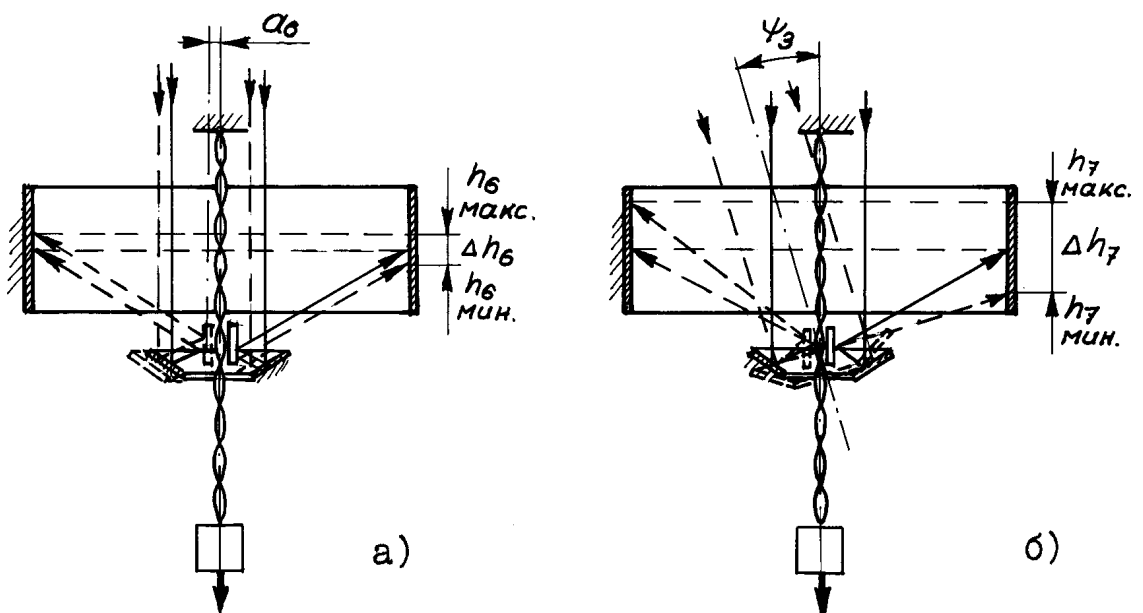
- Паралелно отклонение " a_8 " (фиг.3-27,а) с вертикална прецесия Δh_{10} и допълнителна циклична грешка в стойността



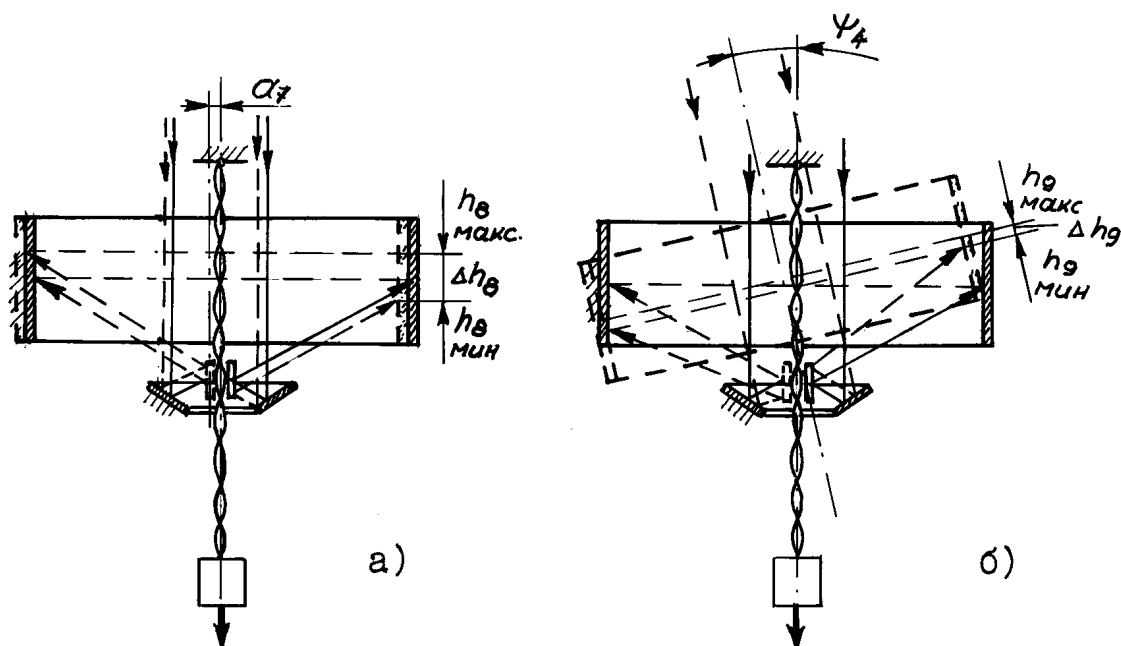
Фиг.3-23. Отклонение на оста на конусното огледало от общата ос на модела: а) успоредно "а₅" и б) ъглово "ψ₂".



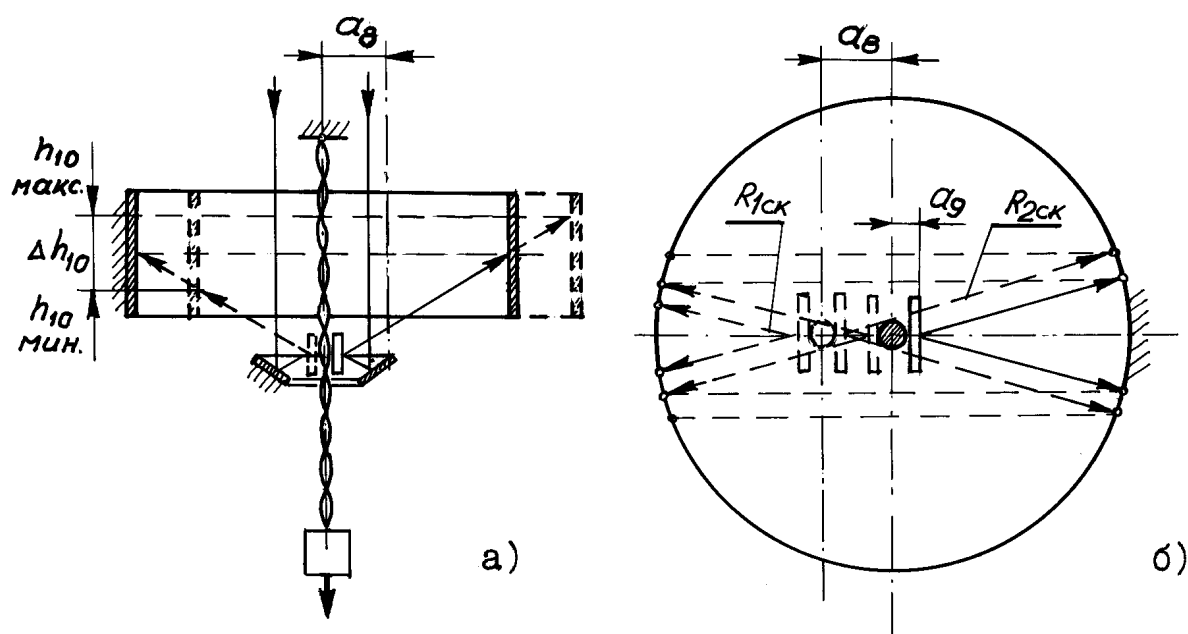
Фиг.3-24. Отклонение $\Delta \rho$ в централния ъгъл на конусното огледало.



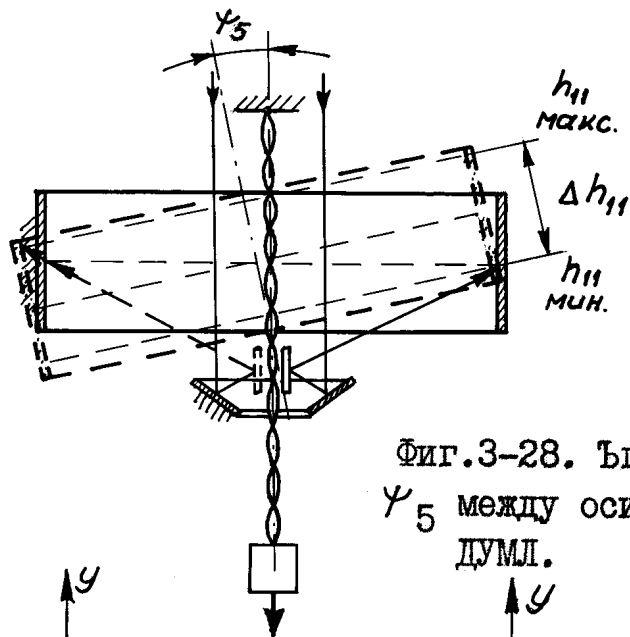
Фиг.3-25. Отклонение на част от оптичната система от оста на ДУМЛ и кръговата скала: а) успоредно "а₆" и б) ъглово "ψ₃".



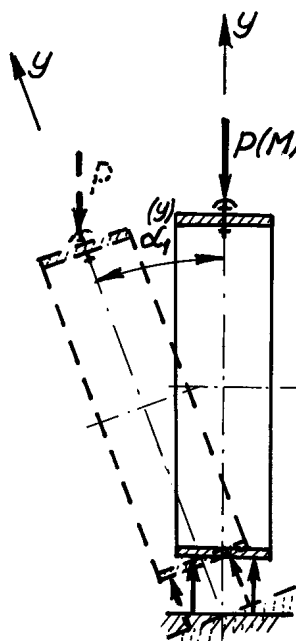
Фиг.3-26. Отклонение на системата "светлинен източник-конусно огледало-кръгова скала" от оста на ДУМЛ: а) успоредно " a_7 " и б) ъглово " ψ_4 ".



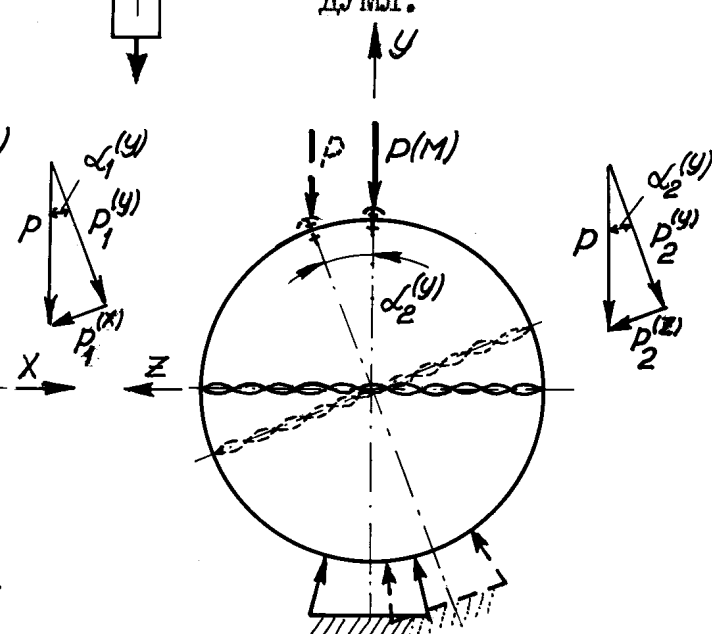
Фиг.3-27. Успоредно отклонение " a_8 " между осите на скалата и ДУМЛ (а) и графичен анализ на формираната грешка при отчет (б).



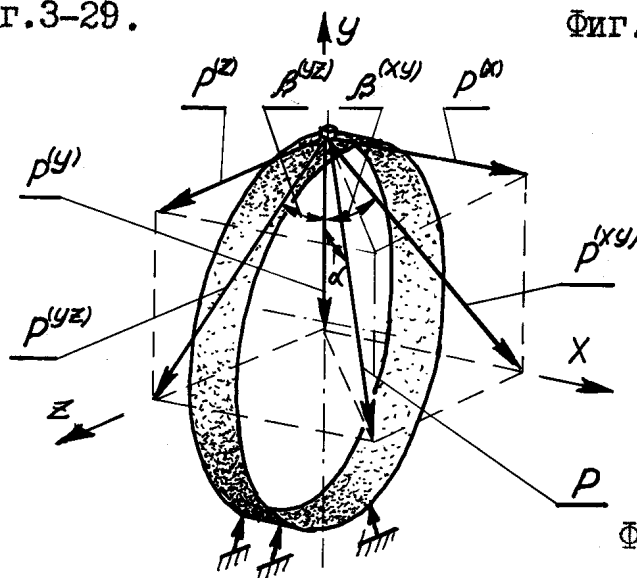
Фиг.3-28. Ъглово отклонение ψ_5 между осите на скалата и ДУМЛ.



Фиг.3-29.



Фиг.3-30.



Фиг.3-31.

Фиг.3-29, 3-30, 3-31. Ъглови отклонения между вектора на силата P и общата осова линия на модела при негово неправилно (нехоризонтално) положение в пространството.

на едно скално деление - $\Delta_{\text{цикл}}^{\text{СК}}$ (фиг.3-27,б), определяна от "a₈", "a₉", неравенството $R_2^{\text{СК}} > R_1^{\text{СК}}$ и участъка от скалата, в който се намира светлинния индекс, отразен от конусното огледало. В случая при еднакви ъгли на завъртане на плоското огледалце, светлинния индекс описва в различни участъци на скалата различни по дължина дъги.

= Ъглово отклонение ψ_5 (фиг.3-28) с вертикална прецесия - Δn_1 .

Съгласно така изложената последователност, в Табл.3-2 са представени предавателните функции на грешките и техните числени стойности, получени след заместване на отделните съставлящи със съответни гранични отклонения в зависимост от: вида на материала, технологията за изработване, метрологичните и експлоатационни изисквания към подобен тип устройства, както и от максималните гранични отклонения за удовлетворяване на предварително зададени метрологични и експлоатационни изисквания към експериментирания модел за установяване възможностите на схемното и конструктивно решение.

ПРЕДАВАТЕЛНИ ФУНКЦИИ И ЧИСЛЕНИ СТОЙНОСТИ НА ГРЕШКИ ПРИ ИЗМЕРВАНЕ НА $x^{(к)}$ И $x_D^{(к)}$ ЧРЕЗ СЕИ

Табл.3.2.

Грешка	Предавателна функция на грешката	Оценка
1	2	3
При измерване на механични премествания		
$\Delta_1^{(1)} x^{(1)}$	Приема се по атестат и се отчита при оценка на крайния резултат от измерването	0,1мкм
$\Delta_2^{(1)} x^{(1)}$	$= x^{(1)} \cdot [1 - \cos(\bar{\beta} + \bar{\beta})]$ $\bar{\beta} \approx \arctg\left(\frac{\delta_1}{14}\right); \bar{\beta} \approx \arcsin\{2(a_3 - a_2) \cdot [(4a_2^2 + 15^{(2)} + 16^2) \cdot (4a_2)^{-1} + 16^2]^{-0,5}\}$	0,02мкм фиг. 3-12

Табл.3.2. - Продължение

1	2	3
$\Delta_{X(1)}^{(2)}$	$= X^{(1)} \{ 1 - \cos \delta [\cos(\delta \pm \zeta)]^{-1} \}; \delta = \delta_1 + \delta_2$ $\delta_1 = \arctg(\frac{\delta_3}{17}); \delta_2 = \arcsin(\frac{\delta_2}{18});$	-0,009 мкм Фиг.3-13
$\Delta_{X(1)}^{(3)}$	$= X^{(1)} \cdot (\cos \frac{\nu}{2} - 1) \cdot (\cos \frac{\nu}{2})^{-1}; \nu \approx 1^\circ$	0,01 мкм Фиг.3-14
$\Delta_{X(1)}^{(3)}$	$= X_1^{(1)} \cdot (\cos \delta_2 - 1) \cdot (\cos \delta_2)^{-1}; \delta_2 \approx \delta$	0,02 мкм Фиг.3-15
$\Delta_{3(1)}^{(3)}$	$= X^{(1)} \cdot (\cos \nu_1 - 1) \cdot (\cos \nu_1)^{-1}; \sin \nu_1 = \Delta l_9 (2R_{cp} \cdot \sin \alpha)^{-1}$ $\Delta l_9 = 0,1 \text{ мм}$	0,003 мкм Фиг.3-16
$\Delta_{3(2)}^{(3)}$	аналогична на $\Delta_{X(1)}^{(3)}$	0,01 мкм Фиг.3-17
$\Delta_{3(3)}^{(3)}$	не оказва влияние	-
$\Delta_{X(1)}$	$\{ [\Delta_{X(1)}^{(1)}]^2 + [\Delta_{X(1)}^{(2)}]^2 + [\Delta_{X(1)}^{(3)}]^2 + [\Delta_{X(1)}^{(3)}]^2 +$ $[\Delta_{3(1)}^{(3)}]^2 + [\Delta_{3(2)}^{(3)}]^2 + [\Delta_{X(1)}^{(1)}]^2 \}^{0,5}$	0,11 мкм или 0,43 мм, ск
$\Delta_{1(1)}^{(4)}$	$= (\frac{z_1}{z_2})' \Delta \alpha$ за z_1 и z_2 виж.Табл.3.1. $\Delta \alpha = \pm 2^\circ$	$1,4 \cdot 10^{-5}$ Фиг.3-18
$\Delta_{2(2)}^{(4)}$	$= 1 - (R_{cp} - \Delta R_{cp})^3 \cdot R_{cp}^{-2}; \Delta R_{cp} = 2R_{cp} \cdot \cos \eta; \eta = 1^\circ$	$4,6 \cdot 10^{-4}$ Фиг.3-19
$\Delta_{2(3)}^{(4)}$	аналогична на $\Delta_{2(2)}^{(4)}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$ Фиг.3-13
$\Delta_{1(1)}^{(5)}$	$= \frac{l_{(2)}}{y^{(1)}} - \frac{l^{(2)}}{y^{(1)}} = \{ 2X^{(1)} - [(2l_{cp} \sin \xi)^2 +$ $+ (2R_{cp} + X^{(1)} - l_{10} \cdot \cos \xi)^2]^{0,5} - [(l_{10} \cdot \sin \xi)^2 +$ $+ (R_{cp} - l_{10} \cdot \cos \xi)^2]^{0,5} \} \cdot [2X^{(1)}]^{-1}$	1,76 . 10^{-5} при $\xi = 1^\circ$ Фиг.3-20
$\Delta_{1(2)}^{(5)}$	$= \frac{l^{(1)}}{y^{(1)}} - \frac{l^{(1)}}{y^{(1)}} = \{ 2X^{(1)} - [(4a_3^2 + (2R_{cp} + X^{(1)} -$ $- l_{10})^2]^{0,5} - 2[a_3^{(2)} + (R_{cp} - l_{10})^2]^{0,5} \} \cdot (2X^{(1)})^{-1}$	2,07 . 10^{-6} при $a_3 = 0,1 \text{ мм}$ Фиг.3-21
$\Delta_{1(1)}$	$\{ [\Delta_{1(1)}^{(4)}]^2 + [\Delta_{2(2)}^{(4)}]^2 + [\Delta_{2(3)}^{(4)}]^2 +$ $+ [\Delta_{1(1)}^{(5)}]^2 + [\Delta_{1(2)}^{(5)}]^2 \}^{0,5}$	6,5. 10^{-4}
$\Delta_{10}^{(6)}$	$= \frac{0,0569 \cdot E_1 \cdot r_0 \cdot F \cdot (\lambda + 0,18 \cdot b_1^2 \cdot r_0^2) \cdot X^{(1)}}{2[4G(\lambda + \nu \cdot b_1^2 \cdot r_1^2) + 1,99056 EFG(\lambda + 0,18 b_1^2 \cdot r_0^2)]^2}$ където: $F = 0,96 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2$	$1 \cdot 10^{-4}$ о/мкм или: 6,9. 10^{-5} мм/ мкм

Табл.3.2. - Продължение

1	2	3
$\Delta_1^{(7)} i_0^{(1)}$	Подлежи на настройка и минимизиране Фиг.3-22	Приема се $\Delta \Sigma_1 =$
$\Delta_2^{(7)} i_0^{(1)}$	Подлежи на настройка и минимизиране Фиг.3-25; Фиг.3-24	0,18 мкм или $4,3 \cdot 10^{-3}$
$\Delta_3^{(7)} i_0^{(1)}$	Подлежи на настройка и минимизиране Фиг.3-25; Фиг.3-26	о/мкм
$\Delta_4^{(7)} i_0^{(1)}$	Подлежи на настройка и минимизиране Фиг.3-27; Фиг.3-28	0,72 мм скални
$\Delta i_0^{(1)}$	$= \{ [\Delta^{(6)} i_0^{(1)}]^2 + (\Delta \Sigma_1)^2 \}^{0,5}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$ о/мкм $3 \cdot 10^{-8}$ смм/мкм
$\Delta \bar{y}_0^{(1)}$	$= \Delta x^{(1)} \cdot i_0^{(1)} \cdot i_0^{(1)} + \Delta i_0^{(1)} \cdot i_0^{(1)} \cdot x^{(1)} \cdot i_0^{(1)} \cdot i_0^{(1)} \cdot x^{(1)}$	1,77°
$x_{1д1}^{(1)}$	$= \Delta x^{(1)} \cdot \frac{i_0^{(1)}}{i_{1д1}^{(1)}} + \Delta i_0^{(1)} \cdot \frac{x^{(1)}}{i_{1д1}^{(1)}} + \frac{x^{(1)} \cdot i_0^{(1)}}{i_{1д1}^{(1)} \cdot i_0^{(1)}} \Delta i_0^{(1)}$	0,63 мкм
$\bar{\delta}_{од}^{(1)}$	$= \bar{y}_0^{(1)} \cdot [\Delta \bar{y}_0^{(1)}]^{-1} \cdot \bar{\delta}_0^{(1)} \quad (\bar{y}_0^{(1)} = \bar{\theta}_{пр} = 678^\circ)$	$= 383 \bar{\delta}_0^{(1)}$
При измерване на сили (маса)		
$\Delta_1^{(1)} x^{(2)}$	Приема се по атестат и се отчита при оценка на крайния резултат от измерването	$1 \cdot 10^{-5} \text{ Н}$
$\Delta_2^{(1)} x^{(2)}$	$x^{(2)} [1 - \cos^2 \alpha_{1(2)}^{(y)}] \approx \alpha_{1(2)}^{(y)} \approx 2^\circ$ Фиг.3-29; 3-30; 3-31	$7,3 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$
$\Delta_1^{(3)} x^{(2)}$	$= x^{(2)} (\cos \frac{\varphi}{2} - 1) \cdot (\cos \frac{\varphi}{2})^{-1}; \quad \varphi = 1^\circ$	$4,5 \cdot 10^{-5} \text{ Н}$ Фиг.3-14
$\Delta_{3(1)}^{(3)} x^{(2)}$	$= x^{(2)} (\cos \varphi_1 - 1) \cdot (\cos \varphi_1)^{-1}; \quad \sin \varphi_1 = \Delta l_1 (2R \cdot \sin)^{-1}$ $\Delta l_1 = 0,1 \text{ мм}$	$1,7 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$ Фиг.3-16
$\Delta_{3(2)}^{(3)} x^{(2)}$	аналогична на $\Delta^{(3)} x^{(2)}$	$4,5 \cdot 10^{-5} \text{ Н}$ Фиг.3-17
$\Delta_{3(3)}^{(3)} x^{(2)}$	не оказва влияние и минимизиране	-
$\Delta x^{(2)}$	$= \{ [\Delta_1^{(1)} x^{(2)}]^2 + [\Delta_2^{(1)} x^{(2)}]^2 + [\Delta_{3(1)}^{(3)} x^{(2)}]^2 +$ $+ [\Delta_{3(2)}^{(3)} x^{(2)}]^2 + [\Delta_{3(3)}^{(3)} x^{(2)}]^2 \}^{0,5}$	$7,3 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$
$\Delta_1^{(4)} i_1^{(2)}$	$= R_{cp} (2E_2 \cdot J)^{-1} \Delta z_1 \quad \Delta z_1 = -0,083 \Delta \alpha; \Delta \alpha = 2^\circ$	$8,78 \cdot 10^{-5}$ мкм/Н Фиг.3-18
$\Delta_{2(1)}^{(4)} i_1^{(2)}$	$= 3R_{cp}^2 z_1 (2E_2 \cdot J)^{-1} \Delta R_{cp}; \quad \Delta R_{cp} = \pm 0,1 \text{ мм.}$	$6,03 \cdot 10^{-5}$ мкм/Н
$\Delta_{2(2)}^{(4)} i_1^{(2)}$	$= \Delta_{2(2)}^{(4)} i_1^{(1)} \cdot i_1^{(2)}$ Фиг.3-19	$7,36 \cdot 10^{-7}$ мкм/Н

Табл.3.2. - Продължение

1	2	3
$\Delta_{2(3)}^{(4)}(2)$	$= \Delta_{2(2)}^{(4)}(2)$	$7,36 \cdot 10^{-7}$ мкм/Н Фиг.3-13
$\Delta_3^{(4)}(2)$	$= R_{\text{ср}}^3 \cdot Z_1 (2E_2^2 \cdot J)^{-1} \cdot \Delta E_2; \Delta E_2 = 100 \text{ Н/мм}^2$	$3,98 \cdot 10^{-5}$ мкм/Н
$\Delta_4^{(4)}(2)$	$= R_{\text{ср}}^3 \cdot Z_1 (2E_2 \cdot J^2)^{-1} \cdot \Delta J; \Delta J = \Delta (H \cdot b^3 \cdot 12^{-1})$ $\Delta H = 0,1 \text{ мм}; \Delta b = 0,005 \text{ мм}; \Delta J = 0,0053 \text{ мм}^4$	$1,5 \cdot 10^{-4}$ мкм/Н
$\Delta_{1(1)}^{(5)}(2)$	$= \Delta_{1(1)}^{(5)}(1) \cdot i(2)$ Фиг.3-20	$2,8 \cdot 10^{-7}$ мкм/Н
$\Delta_{1(2)}^{(5)}(2)$	$= \Delta_{1(2)}^{(5)}(1) \cdot i(2)$ Фиг.3-21	$2,8 \cdot 10^{-7}$ мкм/Н
$\Delta_i(2)$	$\{ [\Delta_{1(1)}^{(4)}(2)]^2 + [\Delta_{2(1)}^{(4)}(2)]^2 + [\Delta_{2(2)}^{(4)}(2)]^2 + [\Delta_{2(3)}^{(4)}(2)]^2 + [\Delta_{3(1)}^{(4)}(2)]^2 + [\Delta_{4(1)}^{(4)}(2)]^2 + [\Delta_{1(1)}^{(5)}(2)]^2 + [\Delta_{1(2)}^{(5)}(2)]^2 \}^{0,5}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$ мкм/Н
$\Delta_{i_0}^{(6)}(2)$	$= \Delta_{i_0}^{(6)}(1)$	$1 \cdot 10^{-4}$ мкм или $0,0179 \text{ Н}$
$\Delta_1^{(7)}(2)$	Подлежи на настройка и минимизиране	Включва се в $\Delta \Sigma_2$ Фиг.3-22
$\Delta_2^{(7)}(2)$	Подлежи на настройка и минимизиране Фиг.3-25; Фиг.3-24	$\Delta \Sigma_2 = \Delta \Sigma_1 =$ $0,18 \text{ мкм}$
$\Delta_3^{(7)}(2)$	Подлежи на настройка и минимизиране Фиг.3-25; Фиг.3-26	$(4,3 \cdot 10^{-3})$ °/мм;
$\Delta_4^{(7)}(2)$	Подлежи на настройка и минимизиране Фиг.3-27; Фиг.3-28	$(0,72 \text{ мм}$ скални)
$\Delta_{i_0}(2)$	$= \{ [\Delta_{i_0}^{(6)}(2)]^2 + (\Delta \Sigma_2)^2 \}^{0,5}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$ °/мм
$\Delta \bar{y}_0^{(2)}$	$= \Delta x^{(2)} \cdot i_1^{(2)} \cdot i_0^{(2)} + \Delta i^{(2)} \cdot i_0^{(2)} \cdot x^{(2)} + \Delta i_0^{(2)} \cdot i_1^{(2)} \cdot x^{(2)}$	$1,34^\circ$
$x_{1д1}^{(2)}$	$\Delta x^{(2)} \frac{i_1^{(2)}}{i_{1д1}^{(2)}} + \Delta i^{(2)} \frac{x^{(2)}}{i_{1д1}^{(2)}} + \Delta i_0^{(2)} \frac{x^{(2)} \cdot i_1^{(2)}}{i_{1д1}^{(2)} \cdot i_0^{(2)}}$	$1,3 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$
$\bar{\delta}_{0д}^{(2)}$	$\bar{y}_0^{(2)} \cdot [\Delta \bar{y}_0^{(2)}]^{-1} \cdot \delta_0^{(2)}$ (вж.2.10+2.12)	$506 \bar{\delta}_0^{(2)}$

Получените резултати показват, че разглежданото конструктивно решение може да служи за създаване на устройства за измерване на механични премествания и сили с висока точност

прилагане на разгледаните в гл.2 възможности за допълнителна корекция и компенсация.

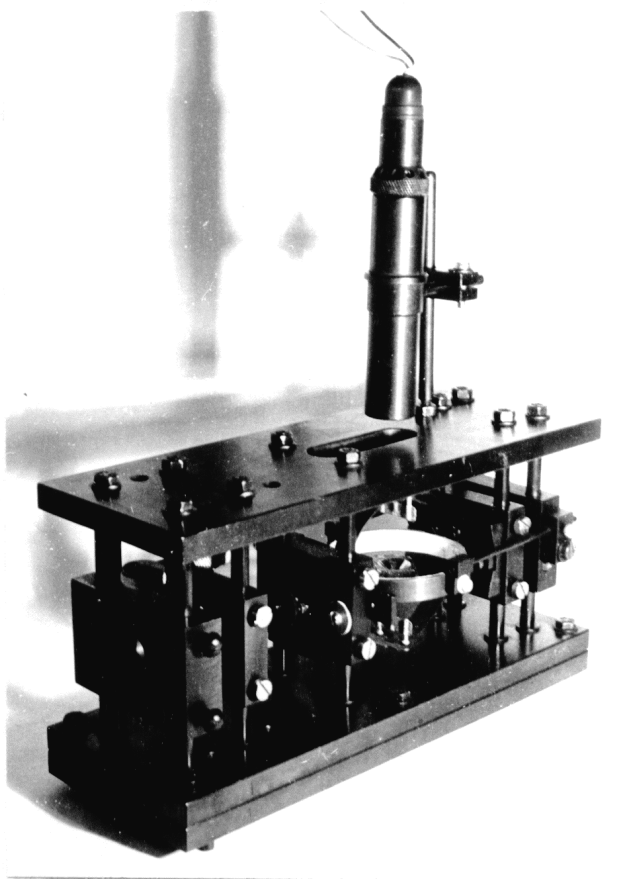
3.3. Метрологично осигуряване и експериментални изследвания

Метрологичното осигуряване обхваща стенда за експериментални изследвания и съответните методики за тяхното провеждане [96].

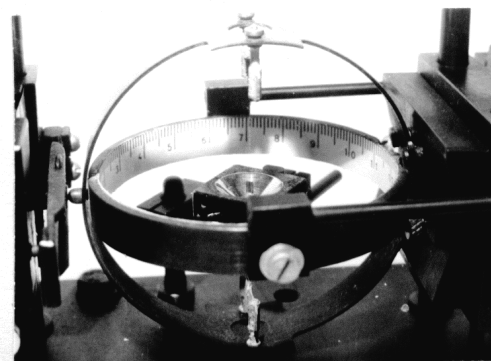
Като част от метрологичното осигуряване, стендът е самостоятелно измервателно устройство с широки метрологични и експлоатационни възможности по отношение на вида на измерваната физическа величина и типовете изследвани СИ. В тази връзка методиките включват всички условия, последователност на действия и изисквания за правилно провеждане на експериментите и получаване на достоверни резултати. Те са съобразени със съществуващите нормативни положения, регламентиращи извършването на метрологични проверки в лабораторни условия.

В случая, от особена важност е липсата на вибрации и гарантиране на определени температурни ($20 \pm 1^{\circ}\text{C}$) условия за провеждане на експериментите.

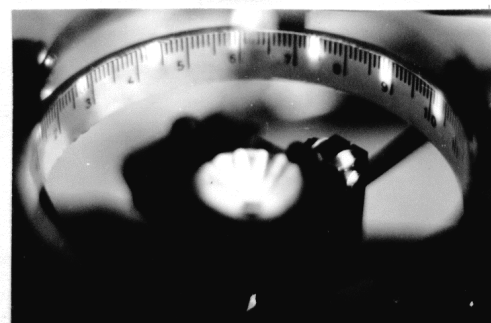
Конструктивното изпълнение на стенда е показано на фиг. 3-32 като общ вид с монтиран към него измервателен уред (оптикатор). На фиг.3-33 е показан в близък план пръстена с монтирана към него скала в изходно положение, а на фиг.3-34 с проектирани светлинни индекси върху скалата формиращи от растер и отразени от плоското огледалце. Част от използваните конфигурации на растери са показани на фи.3-35 ÷ 3-38. На фиг.3-39 е показан в близък план ариетир 19 (фиг.3-7) за прилагане на механично преместване върху пръстена, а на фиг. 3-40 е показан ариетир 26 (фиг.3-7) за прилагане на допълнително въздействие върху пръстена, формирано като механично



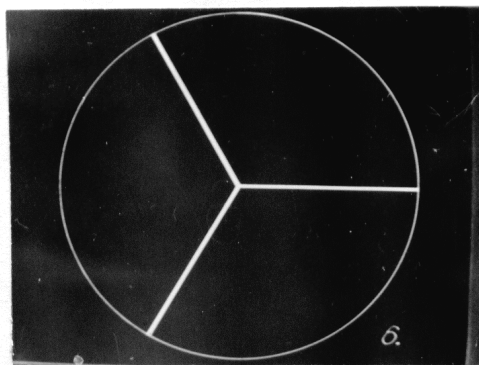
Фиг.3-32. Общ вид на СЕМ



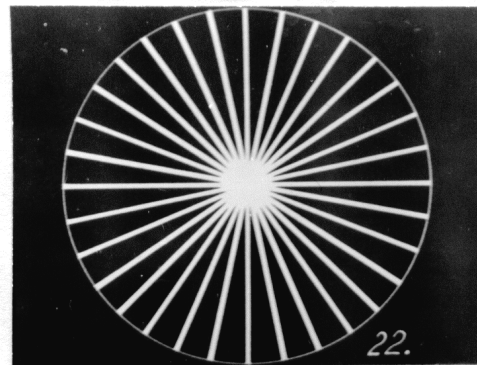
Фиг.3-33. Лабораторен модел на СИ.



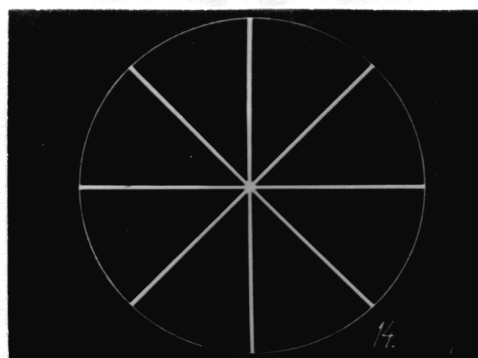
Фиг.3-34. Проекция на raster върху скала на лабораторен модел на СИ.



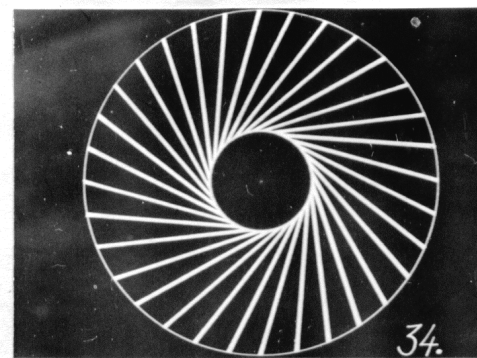
Фиг.3-35



Фиг.3-36

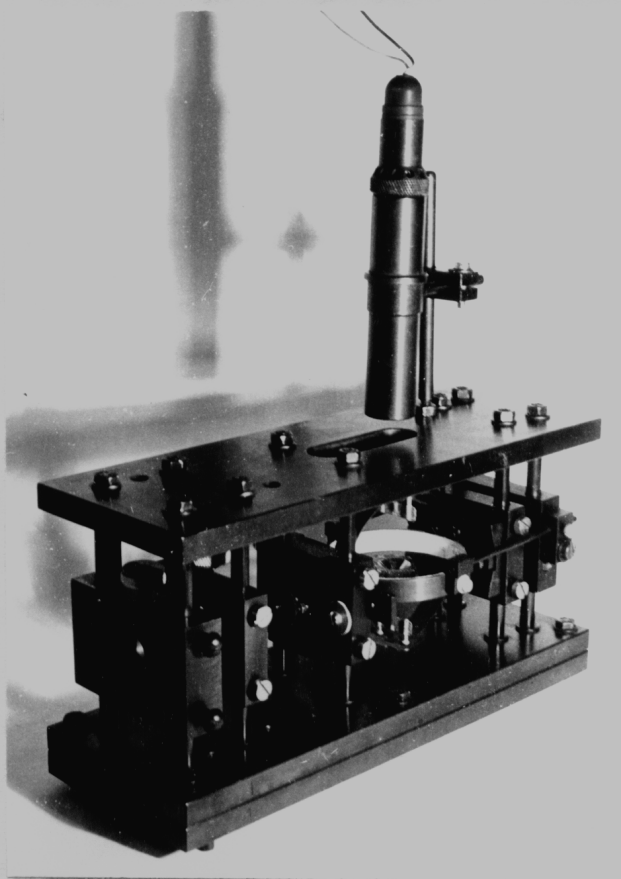


Фиг.3-37

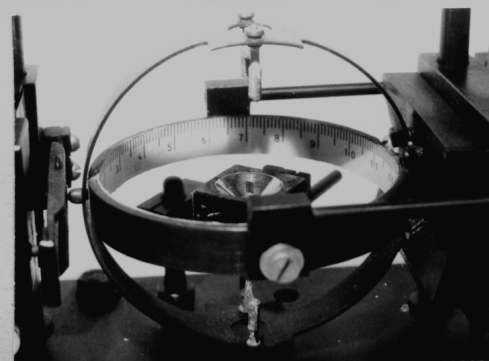


Фиг.3-38

Фиг.3-36, 3-37, 3-38, 3-39. Видове растри използвани при експерименталните изследвания.



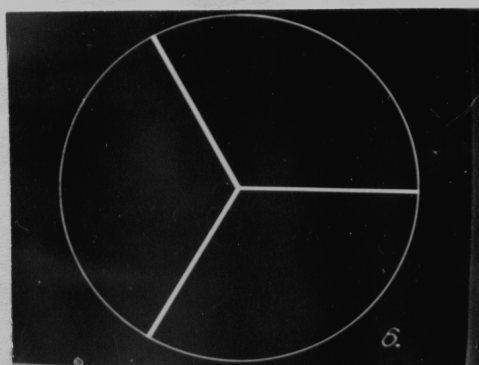
Фиг.3-32. Общ вид на СЕМ



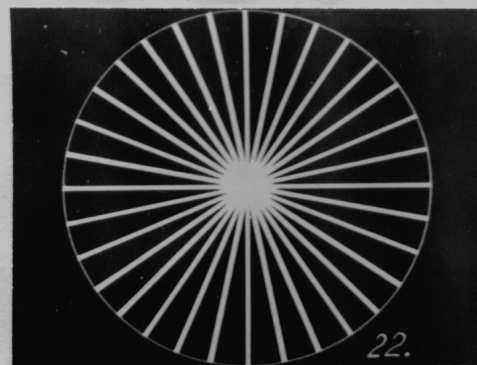
Фиг.3-33. Лабораторен модел на СИ.



Фиг.3-34. Проекция на raster върху скала на лабораторен модел на СИ.



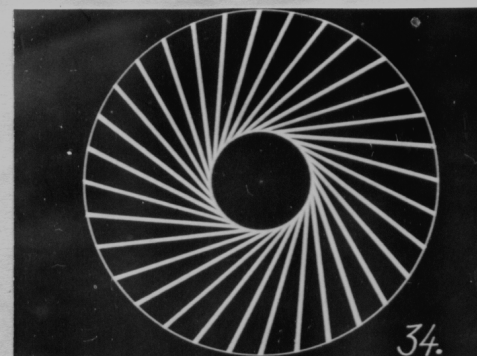
Фиг.3-35



Фиг.3-36

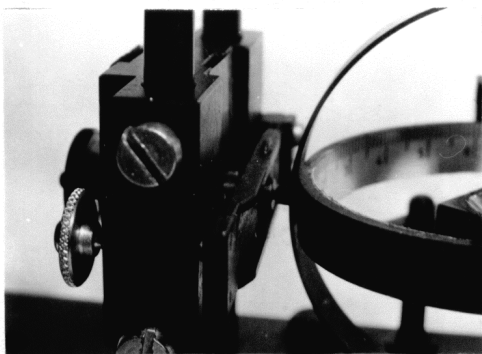


Фиг.3-37

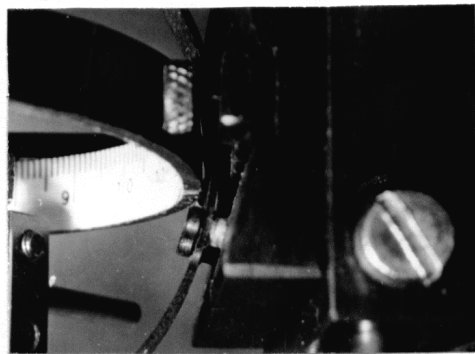


Фиг.3-38

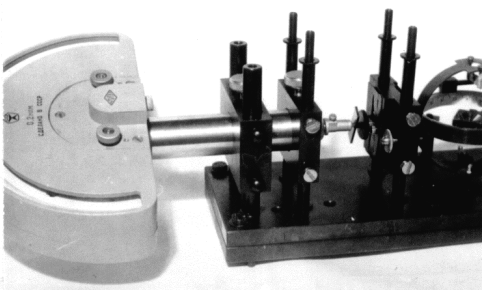
Фиг.3-36, 3-37, 3-38, 3-39. Видове растри използвани при експерименталните изследвания.



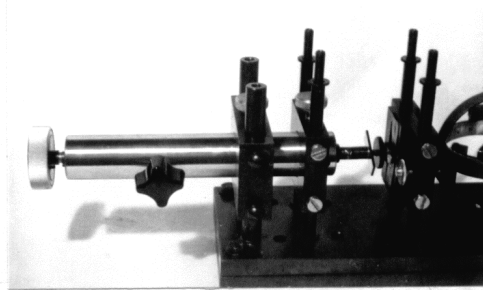
Фиг.3-39. Ариетир за прилагане на физичната величина към пръстена.



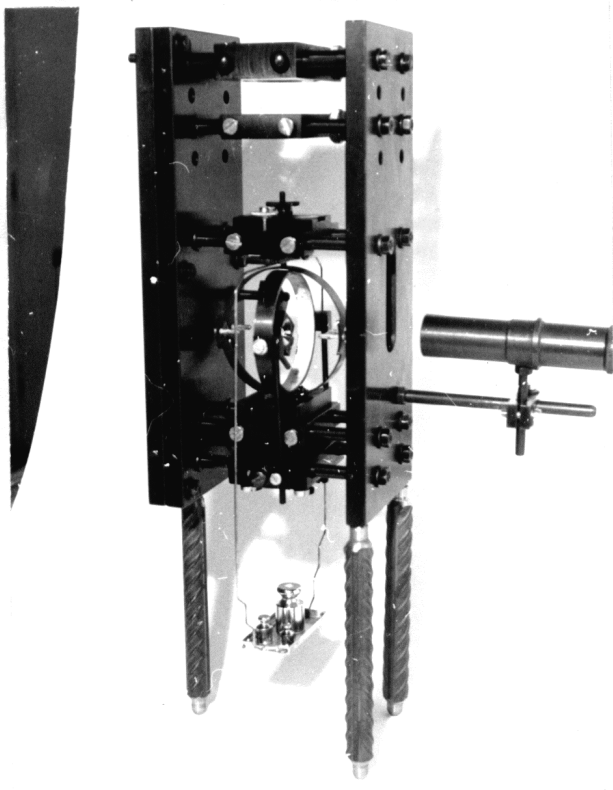
Фиг.3-40. Ариетир за прилагане на допълнителната физична величина към пръстена.



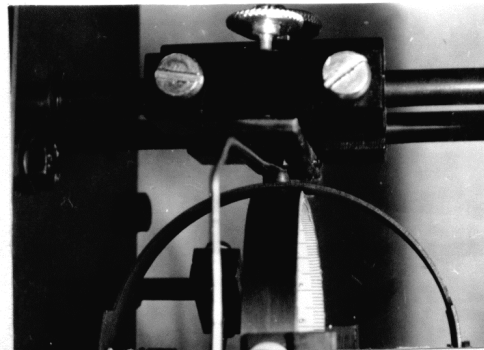
Фиг.3-41. Измерване с монтиран оптикатор (при свалена горна плоча).



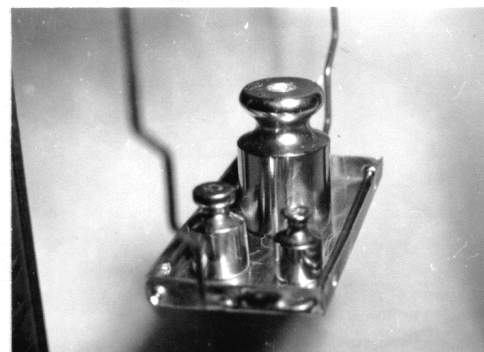
Фиг.3-42. Измерване с монтирана пинола (при свалена горна плоча).



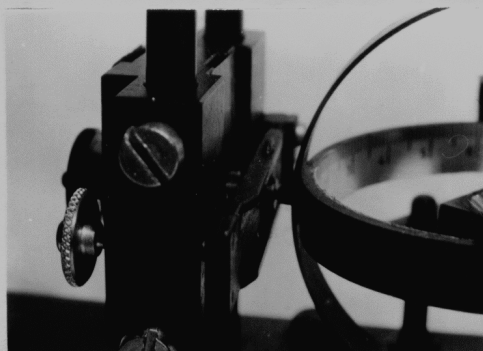
Фиг.3-43. Общ вид на СЕИ с монтирано блюдо за измерване на сили (маса).



Фиг.3-44. Окачване на блюдото върху пръстена.



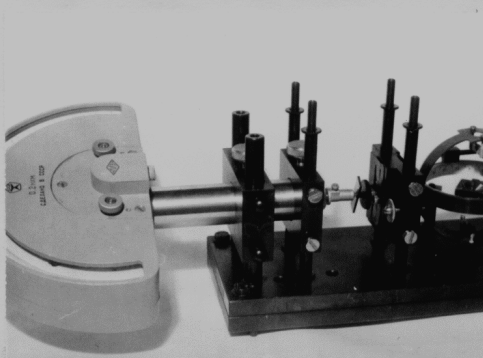
Фиг.3-45. Блюдо с поставени върху него теглилки.



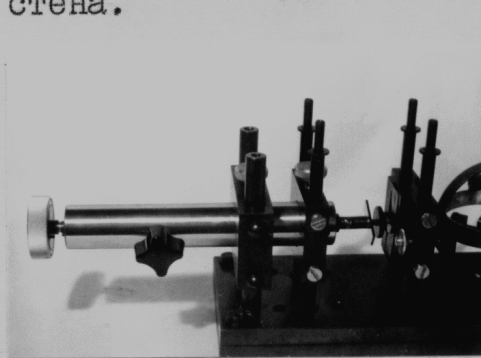
Фиг.3-39. Ариетир за прилагане на физичната величина към пръстена.



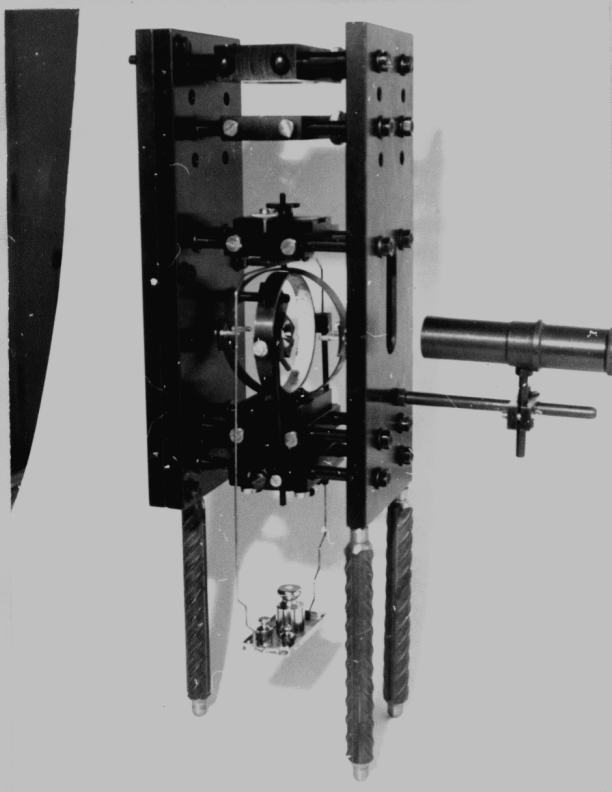
Фиг.3-40. Ариетир за прилагане на допълнителната физична величина към пръстена.



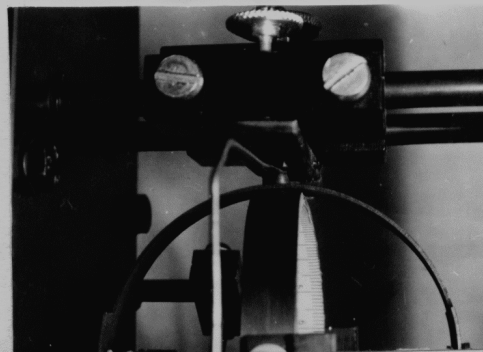
Фиг.3-41. Измерване с монтиран оптикатор (при свалена горна плоча).



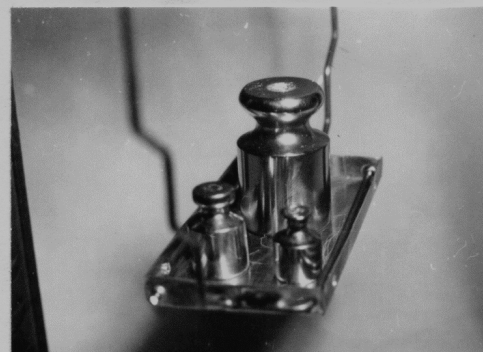
Фиг.3-42. Измерване с монтирана пинола (при свалена горна плоча).



Фиг.3-43. Общ вид на СЕМ с монтирано блюдо за измерване на сили (маса).



Фиг.3-44. Окачване на блюдото върху пръстена.



Фиг.3-45. Блюдо с поставени върху него теглилки.

преместване. Начинът за измерване с формиране на механично преместване посредством оптикатор е показан на фиг.3-41, а при монтирана задна пинола и използване на КМД на фиг.3-42.

Исходното състояние на стедна при измерване на сили (маса) е показано на фиг.3-43 като в близък план са показани окачването на блюдото (фиг.3-44) и тарелката на блюдото с поставени върху нея теглилки на фиг.3-45.

Експериментите се извършват по два основни варианта на формиране и сравняване на образцовата физична величина (ОФВ) с показанията на проверяваното СИ, а именно:

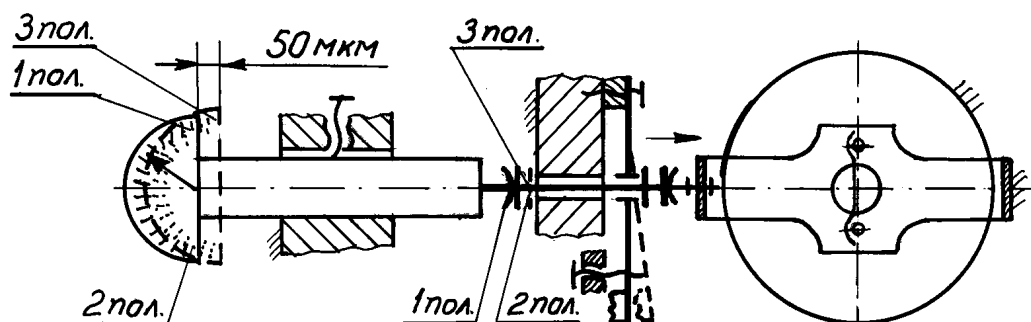
- чрез последователно предаване на ОФВ към междинния прът 7 (фиг.3-7) и от него към ЕДПМП Фиг.3-46; 3-47; 3-48 - възприет при формиране и предаване на механични премествания;

- чрез директно прилагане на ОФВ към ЕДПМП- фиг.3-6 и 3-9, фиг.3-49 и фиг.3-50 - възприет само за формиране и предаване на сили (маса).

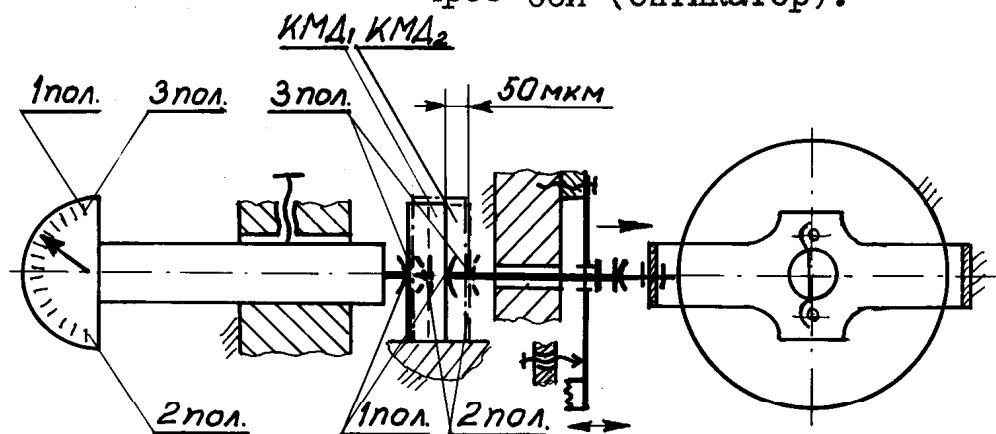
Образцовите механични премествания $X^{(1)}$ се формират посредством образец измервателен уред ($X_1^{(1)}$) - фиг.3-46; 3-47; 3-49 и чрез използване на КМД ($X_2^{(1)}$) - фиг.3-48 и 3-50, а образцовите сили ($X^{(2)}$) чрез теглилки с определена маса. Използван е оптикатор О2П със стойност на скално деление 0,2 мкм с грешки на всеки интервал от 5 мкм по скалата, посочени в табл.3.5, набор КМД със стойности и абсолютни отклонения посочени в табл.3.6, а така също набор теглилки със стойности и абсолютни грешки посочени в табл.3.11.

За допълнително гарантиране точността на формираното и предавано механично преместване чрез оптикатора е възприета само схемата от фиг.3-47.

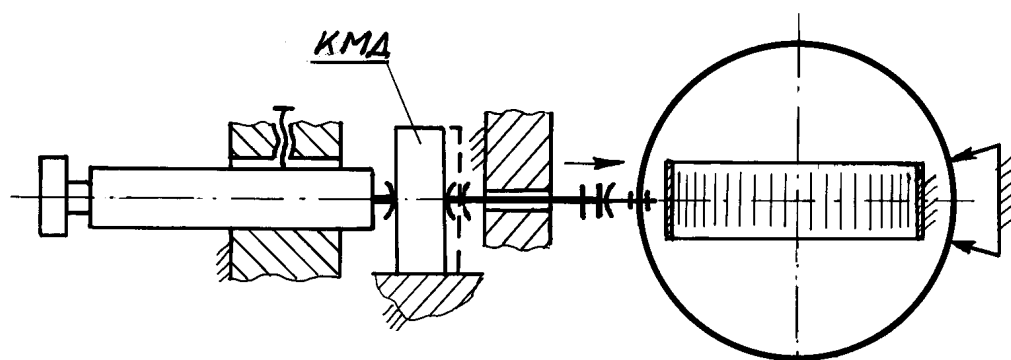
Всички експерименти се извършват в прав и обратен ход на изследването СИ, като всяка съвкупност от измервания се провежда минимум три пъти.



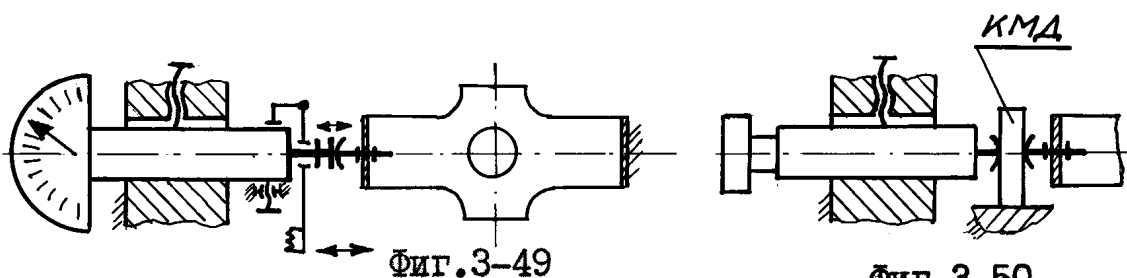
Фиг.3-46. Формиране на образцови механични премествания чрез ОСИ (оптикатор).



Фиг.3-47. Увеличаване измервателният обхват на ОСИ (оптикатор) чрез допълнителни КМД.



Фиг.3-48. Формиране на образцови механични премествания чрез набор от КМД.



Фиг.3-49, 3-50. Директно (без междинен прът) прилагане на образцови механични премествания към пръстена.

Получените експериментални резултати са представени в табличен (табл.3.3; 3.4; 3.10) и графичен (фиг.3-51 за $\bar{y}_z^{(1)}$ и $\bar{y}_{oz}^{(1)}$, а така също фиг.3-54 за $\bar{y}^{(2)}$ респ. $\bar{y}_o^{(2)}$ вид, където: $\bar{y}_z^{(1)}$ ($\bar{y}_{oz}^{(1)}$) – изменение (отчетена стойност) на изходния диаметър на пръстена в мкм (мм.скални) при измерване на механични премествания $X_z^{(1)}$, формирани от оптикатор ($z = 1$) или краищни мерки за дължина (КМД) ($z = 2$).

Обработката на резултатите от проведените експерименти обхваща обобщаване на получените стойности и вземане на решение относно работоспособността и функционалната годност на устройството за определения вид измерване. Получените резултати са представени в табличен (табл.3.7; 3.8; 3.12) и графичен на фиг.3-52, а и б; фиг.3-55.

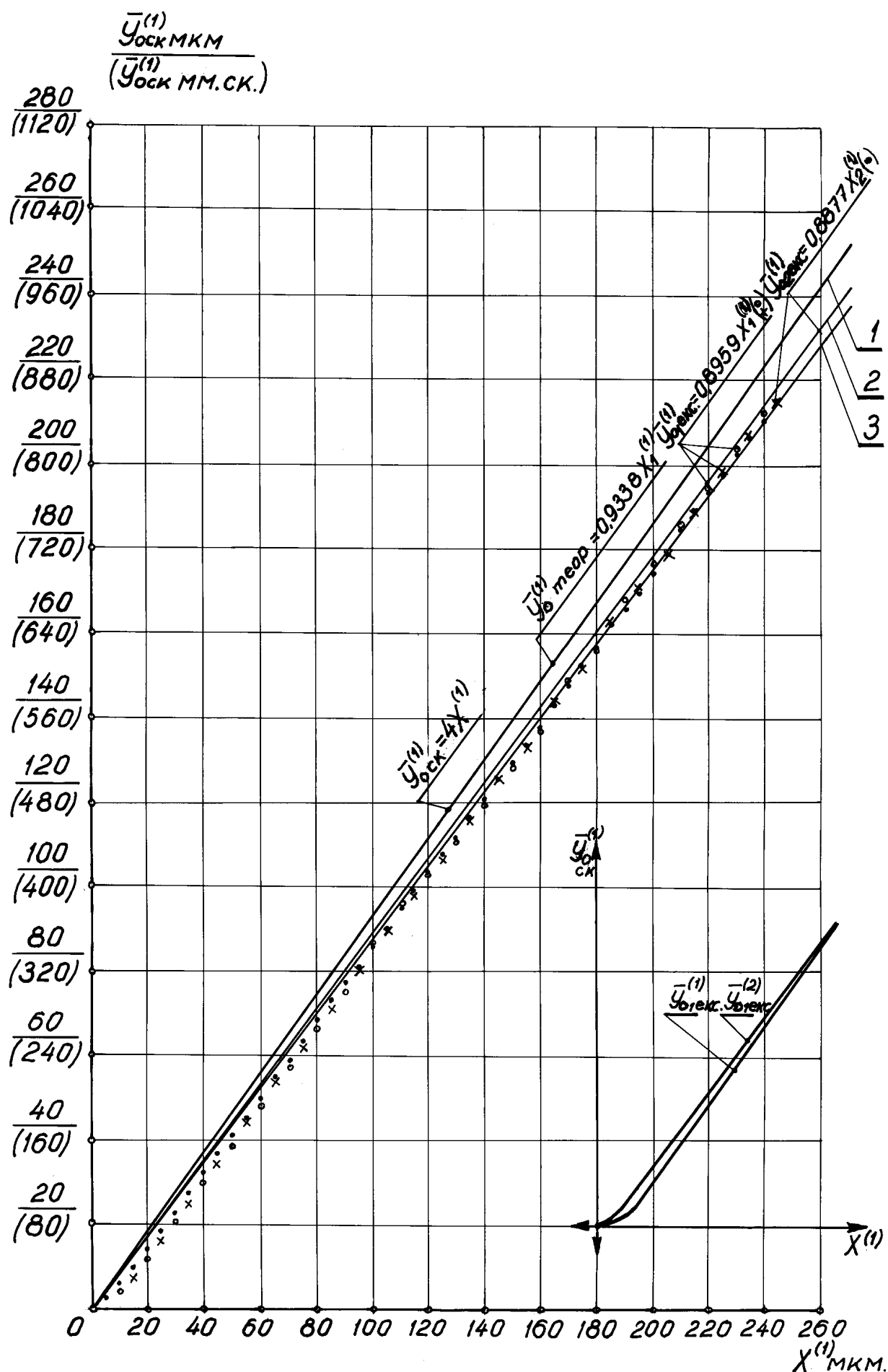
Проверката на работоспособността и ефективността на приетото схемно решение за допълнително въздействие върху ЕДПМІ се извършва успоредно с провеждането на експериментите по проверка на метрологичните и експлоатационни възможности на изследваното СИ.

За целта, при механични премествания е възприета начална стойност на регулиране – ± 10 мкм (2,5 скални деления) и ± 2 гр (1,5 скални деления), при нулева деформация на ЕДПМІ.

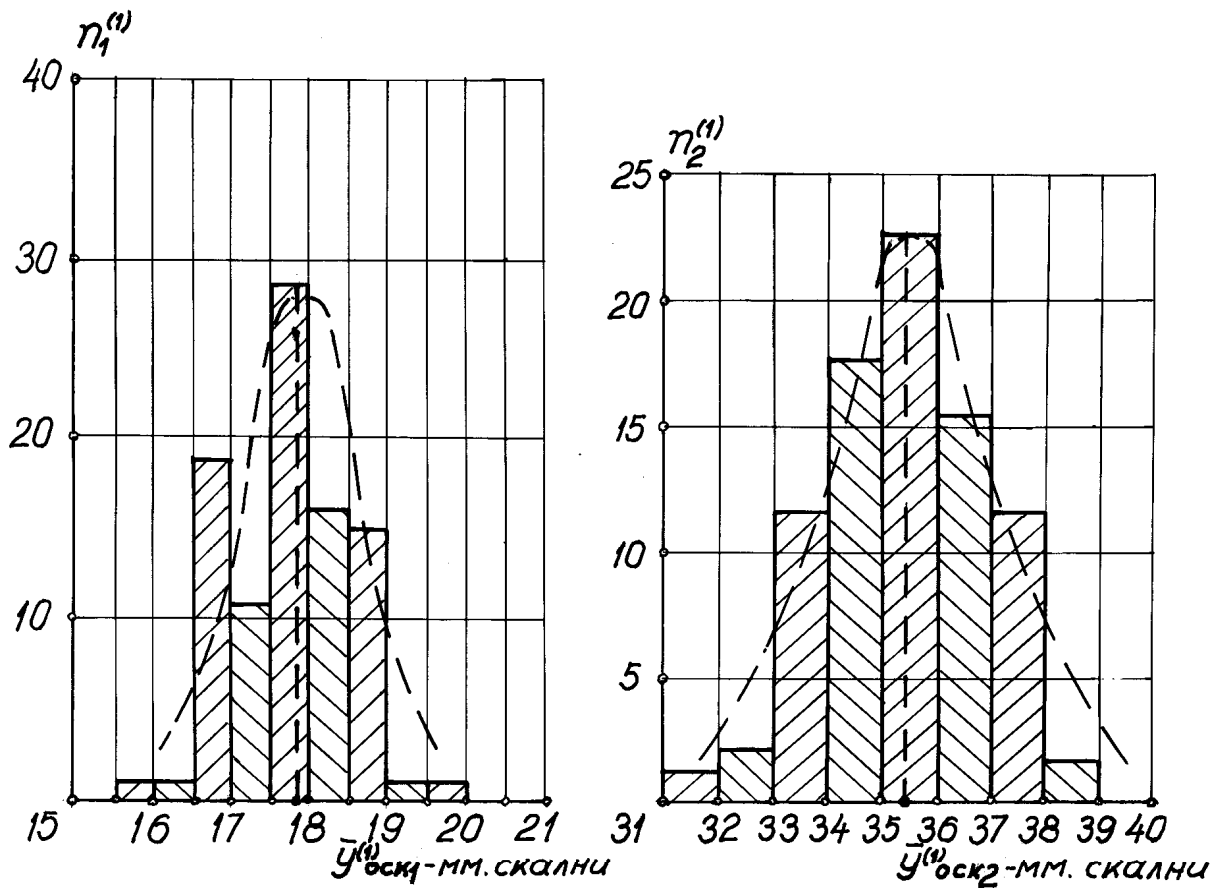
Получените резултати са представени в табличен (табл.3.9 и 3.13) и графичен вид на фиг.3-53 и 3-56.

За по-изчерпателно изследване на повторемостта на метрологичните параметри на проверяваното СИ всички експерименти се извършват многократно в течение на сравнително дълъг период от време и в температурен диапазон от $+15$ до $+30^\circ\text{C}$.

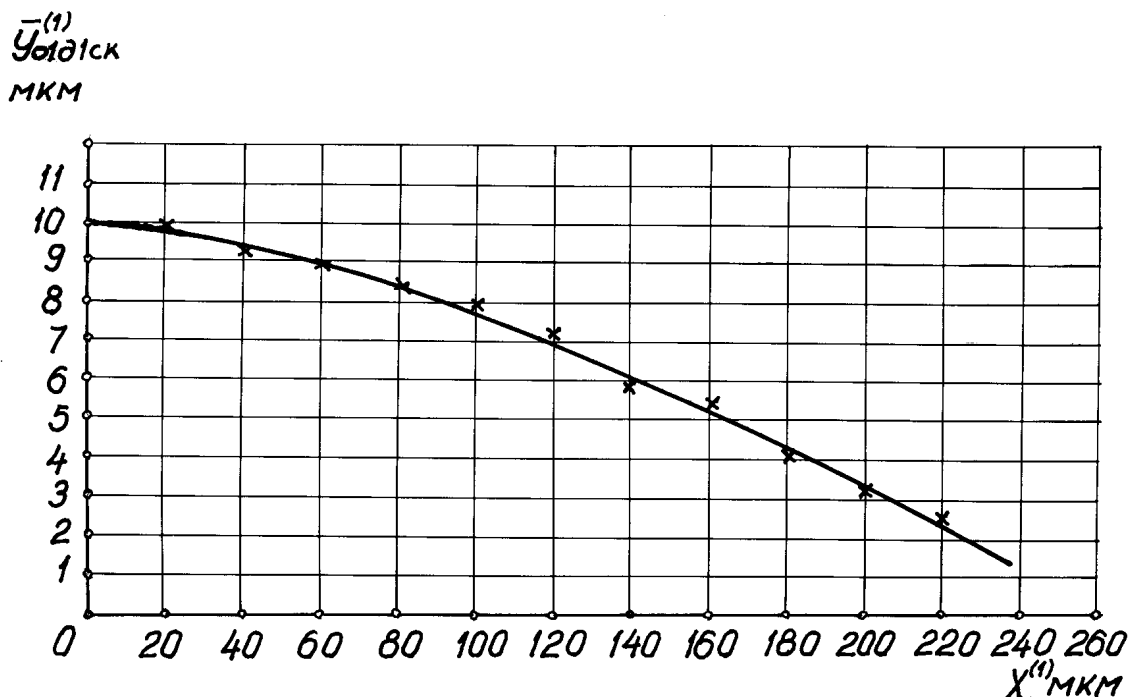
Всяка получена числена стойност е със средно значение от многократни (от 3 до 10) измервания, извършени в различно време и при различни условия (температура, влажност и т.н.)



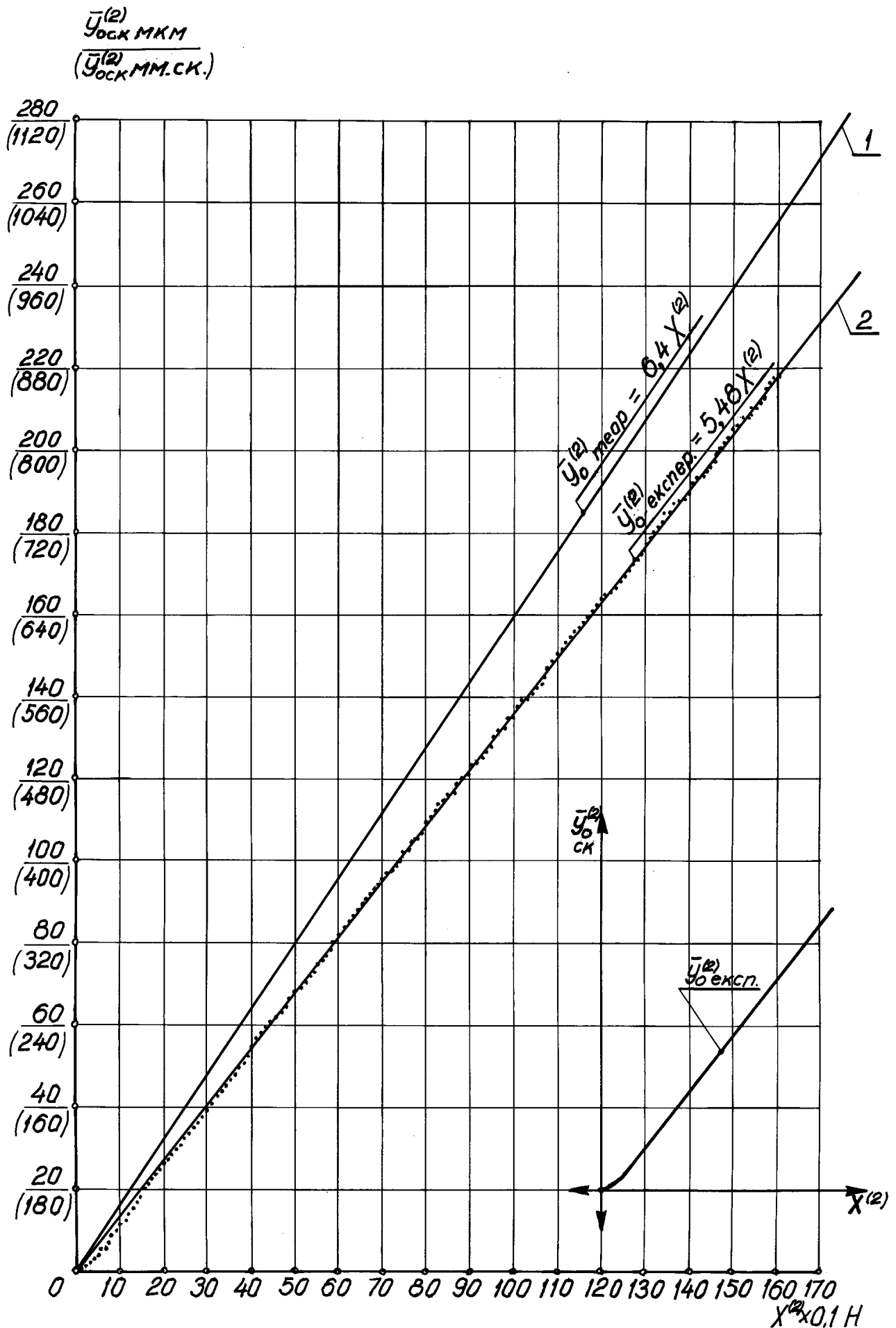
Фиг.3-51. Теоретична (1) и експериментални преобразователни характеристики на модела при измерване на механични премествания, формиращи чрез ОСИ (2) и КМД (3).



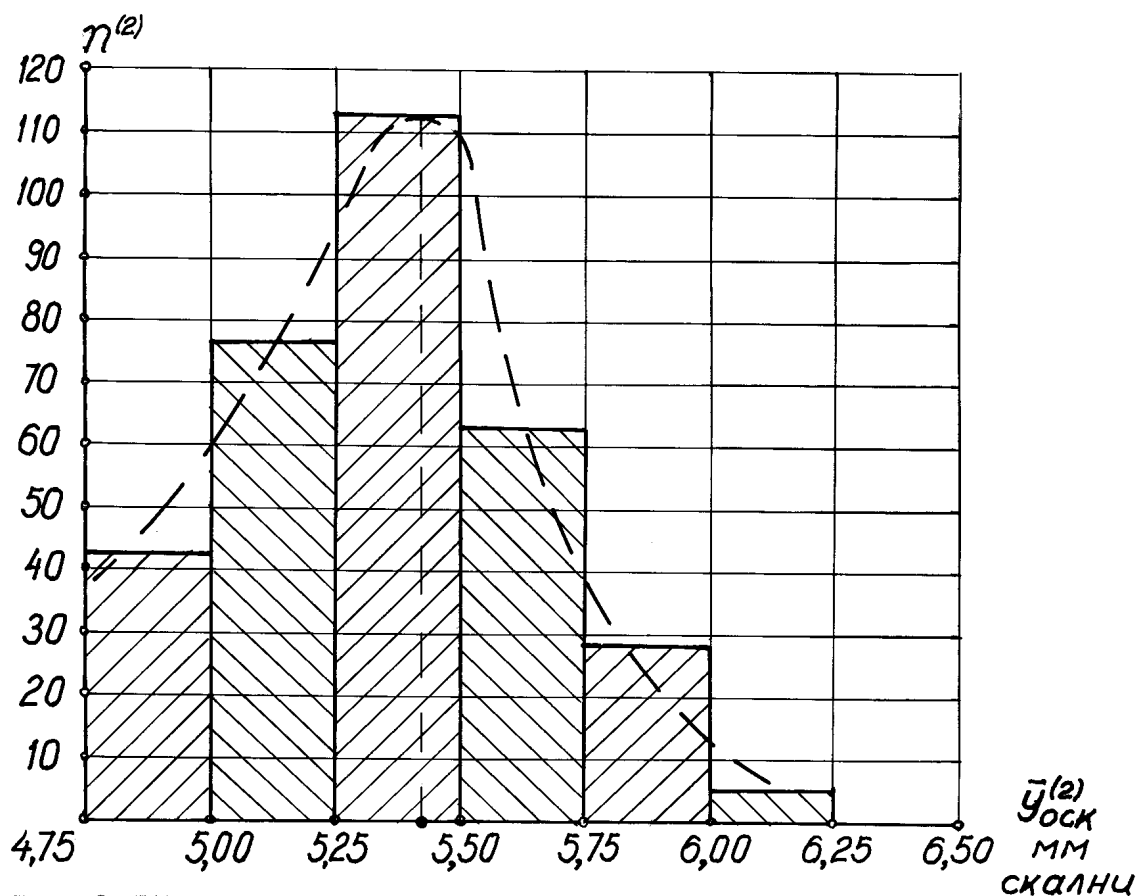
Фиг.3-52. Гранични отклонения и разпределение на експерименталните резултати при измерване на механични премествания, формиращи от: а) оптикатор и б) КМД.



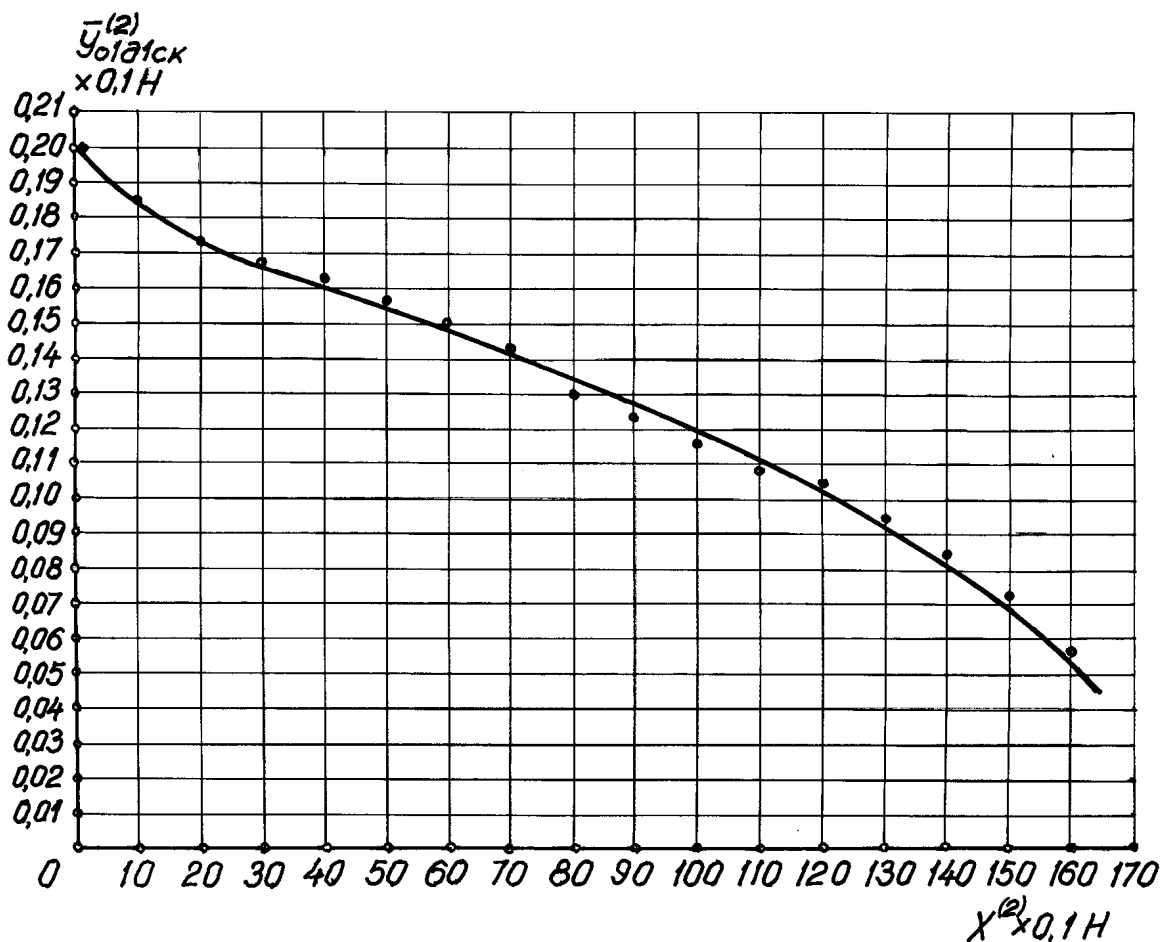
Фиг.3-53. Експериментална преобразователна характеристика на модела за прилагане на допълнително въздействие при измерване на механични премествания.



Фиг.3-54. Теоретична (1) и експериментална (2) преобразувателни характеристики на модела при измерване на сили (маса).



Фиг.3-55. Графични отклонения и разпределение на експерименталните резултати при измерване на сили (маса).



Фиг.3-56. Експериментална преобразователна характеристика на модела за прилагано допълнително въздействие при измерване на сили (маса).

на провеждане на експериментите.

Резултатите са близки до аналитично определените стойности, като получените разлики се дължат на отклонения в геометричните параметри, физичните свойства на материалите и несъвършенства в конструктивните решения на отделните градивни елементи на модела.

В тази връзка, може да се считат за доказани предварителните изводи за работоспособността на избраната кинематична схема на модела, нейните високи метрологични и експлоатационни параметри, както и възможността за тяхното оптимизиране чрез прилагане на метода за допълнително въздействие и метода на заместване.

Реално получените стойности на скални деления ($0,28 \text{ мкм/мм}$ и $0,18 \cdot 10^{-2} \text{ Н/мм}$) при сравнително непрецизни оптични елементи, дават основание да се предполага, че моделът и схемното решение притежават резерви за усъвършенстване и развитие.

Получената разлика между наклона на теоретично определената 1 (фиг.3-37, фиг.3-40) и експерименталните 2 и 3 криви е предизвикан от несъответствието между експлоатационните параметри на реално изпълнените опорни стойки на пръстена и техния теоретичен еквивалент, което налага тяхното бъдещо развитие и оптимизиране.

Отклонението между двете експериментални криви 2 и 3 (фиг.3-51) може да се обясни с допълнителното измервателно усилие, оказвано върху КМД от еластичните направляващи на междинния прът.

Експериментални резултати получени при задаване на образцови механични (линейни) премествания формиранни посредством образцово СИ (оптикатор).

Табл.3.3.

№ п-1	Зад. ст-т X ⁽¹⁾ мм	Действит. значение на задав. стойност на интерв X _m ⁽¹⁾ - X _l ⁽¹⁾ мм	Средно зна- чение X ⁽¹⁾ мм.скалки		№ п-1	Зад. ст-т X ⁽¹⁾ мм	Действит. значение на задав. стойност на интерв X _m ⁽¹⁾ - X _l ⁽¹⁾ мм	Средно значение X ⁽¹⁾ мм.скалки	
			прав ход	обрат. ход				прав ход	обратен ход
1	0	0	0	10,00	26	125	4,97	17,20	17,68
2	5	4,91	10,00	14,32	27	130	4,97	17,20	18,32
3	10	4,97	14,80	17,00	28	135	4,99	18,32	18,00
4	15	4,97	16,80	16,68	29	140	4,95	18,32	17,68
5	20	4,95	17,00	16,68	30	145	4,94	18,00	18,00
6	25	4,97	17,00	17,00	31	150	4,94	17,68	17,32
7	30	4,97	16,80	17,00	32	155	4,91	17,00	17,00
8	35	4,99	17,00	18,00	33	160	4,97	17,32	18,68
9	40	4,95	17,20	17,00	34	165	4,97	17,32	18,32
10	45	4,94	17,72	18,32	35	170	4,95	18,00	19,00
11	50	4,94	17,72	18,68	36	175	4,97	18,68	18,68
12	55	4,91	17,72	19,00	37	180	4,97	19,00	18,32
13	60	4,97	18,72	18,32	38	185	4,99	19,00	17,68
14	65	4,97	19,00	17,68	39	190	4,95	17,68	17,32
15	70	4,95	17,72	18,68	40	195	4,94	17,32	17,68
16	75	4,97	17,72	19,00	41	200	4,94	17,68	18,68
17	80	4,97	18,00	18,32	42	205	4,91	18,32	17,68
18	85	4,99	18,32	19,32	43	210	4,97	18,32	18,32
19	90	4,95	19,60	19,00	44	215	4,97	18,00	19,00
20	95	4,94	18,32	18,32	45	220	4,95	18,00	17,00
21	100	4,94	18,72	17,68	46	225	4,97	18,00	17,00
22	105	4,91	18,32	18,32	47	230	4,97	17,00	17,00
23	110	4,97	18,00	17,00	48	235	4,99	17,32	17,00
24	115	4,97	17,72	17,68	49	240	4,95	16,32	17,32
25	120	4,95	17,20	17,00	50	245	4,94	17,68	

Експериментални резултати получени при задаване на образцови механични премествания (линейни), формирани посредством крайни мерки за дължина (КМД).

Табл.3.4.

№ $n =$ $n_2^{(1)}$	Зад. ст. $X_2^{(1)}$	Действит. значение на задав. интерв. $X_{2n}^{(1)} - X_{2(n-1)}^{(1)}$	Средно зна- чение X-мм скални		№ $n =$ $n_2^{(1)}$	Зад. ст. $X_2^{(1)}$ мкм	Действит. значение на задав. интерв. $X_{2n}^{(1)} - X_{2(n-1)}^{(1)}$	Средно зна- чение X-мм скални	
			прав ход	обрат ход				прав ход	обрат ход
1 ₁	0	0	0	16,32	13 ₂	125	9,95	35,00	33,68
1 ₂	5	0	0	27,00	14 ₁	130	10,05	35,72	34,00
2 ₁	10	10,00	18,00	31,32	14 ₂	135	10,05	36,80	35,68
2 ₂	15	10,00	27,00	33,00	15 ₁	140	9,90	34,00	35,68
3 ₁	20	10,02	33,72	33,68	15 ₂	145	9,90	35,20	35,32
3 ₂	25	10,02	32,32	32,68	16 ₁	150	10,10	34,72	34,32
4 ₁	30	10,00	33,32	33,68	16 ₂	155	10,10	35,00	34,32
4 ₂	35	10,00	33,60	34,68	17 ₁	160	9,95	34,32	34,32
5 ₁	40	10,03	34,32	35,68	17 ₂	165	9,95	36,00	36,32
5 ₂	45	10,03	33,32	35,32	18 ₁	170	10,00	36,00	37,32
6 ₁	50	10,00	34,00	37,00	18 ₂	175	10,00	35,00	37,32
6 ₂	55	10,00	37,00	39,00	19 ₁	180	9,95	35,00	38,32
7 ₁	60	10,05	36,72	35,68	19 ₂	185	9,95	36,80	37,00
7 ₂	65	10,05	37,00	34,68	20 ₁	190	10,08	39,00	35,68
8 ₁	70	9,92	35,68	34,68	20 ₂	195	10,08	37,20	36,32
8 ₂	75	9,92	35,20	36,32	21 ₁	200	10,00	35,00	37,68
9 ₁	80	10,03	37,32	37,00	21 ₂	205	10,00	35,00	36,00
9 ₂	85	10,03	35,68	37,68	22 ₁	210	9,97	37,00	36,32
10 ₁	90	9,95	36,00	38,00	22 ₂	215	9,97	37,32	36,32
10 ₂	95	9,95	37,20	37,00	23 ₁	220	10,10	36,32	35,32
11 ₁	100	10,08	37,32	38,00	23 ₂	225	10,10	36,32	35,32
11 ₂	105	10,08	37,68	36,32	24 ₁	230	9,98	36,32	35,68
12 ₁	110	10,02	36,72	34,32	24 ₂	235	9,98	35,32	34,32
12 ₂	115	10,02	35,68	35,32	25 ₁	240	9,97	35,68	-
13 ₁	120	9,95	35,00	36,00	25 ₂	245	9,97	33,68	-

Нанесените в табл.3.4. експериментални резултати се отнасят до два последователно проведени експеримента № 1 и № 2 с разлика между началните точки на отчет - 5 мкм, и интервална стойност $X_{2n}^{(1)} - X_{2(n-1)}^{(1)}$ на задаваните механични премествания-10мкм.

ГРЕШКИ НА ОСИ ПО АТЕСТАТ

Табл.3.5.

Абсолютни грешки на ОСИ $-\Delta X_{(оси)}^{(1)}$ в мкм. за интервали по 5 мкм. за цялата скала от -25 до +25 мкм.										
-25	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25
0	-0.09	-0.03	-0.03	-0.05	- 0.03	-0.03	-0.01	-0.05	-0.06	-0.06

ГРЕШКИ НА КМД ПО АТЕСТАТ

Табл.3.6.

Стойности и абсолютни грешки $-\Delta X_{(кмд)}^{(1)}$ на КМД за задаване на образцови механични (линейни) премествания									
ст-т	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16	1.17
гр-ка	0.05	-0.05	- 0.03	0.03	0.00	0.00	0.05	0.03	0.00
ст-т	1.18	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25	1.26
гр-ка	0.05	0.03	0.05	0.00	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00
ст-т	1.27	1.28	1.29	1.30	1.31	1.32	1.33		
гр-ка	0.05	0.03	0.03	0.00	0.10	0.08	0.05		

СТАТИСТИЧЕСКА ОБРАБОТКА НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ПОЛУЧЕНИ РЕЗУЛТАТИ ПРИ ИЗМЕРВАНЕ НА МЕХАНИЧНИ ПРЕМЕСТВАНИЯ, ФОРМИРАНИ ОТ ОПТИКАТОР

Табл.3.7.

№	Показатели при изключен нелинеен участък на пружинката	Прав ход	Обратен ход	Сумарни стойности
1.	Количество наблюдения - $n_1^{(1)} (n_1^{(1)} = 1 \div 94)$	47	47	94
2.	Средно значение на задаваните интервални стойности $X_1^{(1)}_{ср-мкм}$	4,96	4,96	4,96
3.	Средна стойност на интервален участък - мм. скални	17,81	17,88	17,85
4.	Средно-квадратична стойност на интервален участък -мм.скални	17,82	17,895	17,86
5.	Средно-квадратично отклонение	0,689	0,752	0,718
6.	Уравнение на апроксим.права $\bar{y}_{оск1експ}^{(1)}$ мм.ск	$-3,59X_1^{(1)}$	$-3,61X_1^{(1)}$	$-3,60X_1^{(1)}$
7.	Действителна стойност на едно скално деление - мкм/мм	0.279	0.277	0.278
8.	Теоретично уравнение на апроксимиращата права $\bar{y}_{оск1теор}^{(1)}$ в мм.	$= 4 \cdot X_1^{(1)}$ мм.ск.		

Статистическа обработка на експериментално получени резултати
при измерване на механични премествания формирани от КМД.

Табл.3.8.

№	Показат. при изкл. нелинеен участък	Експеримент 1		Експеримент 2		Обобщени рез.		Сумарни стой- ности
		прав ход	обрат. ход	прав ход	обрат. ход	прав ход	обрат. ход	
1	Кол.наблюд. $n_2^{(1)} =$ $(n_2^{(1)} + 92)$	23	23	23	23	46	46	92
2	Ср.знач. на инт.ст.	10,004	10,004	10,004	10,004	10,004	10,004	10,004
3	Ср.ст-т на инт.уч.	35,62	35,64	35,62	35,64	35,62	35,64	35,63
4	Ср.кв.ст-т	35,64	35,68	35,65	35,68	35,65	35,68	35,66
5	Ср.кв.отклон	1,387	1,503	1,436	1,417	1,396	1,596	1,491
6	Уравн.на апр. пр. $\bar{y}_{\text{осн2 експ}}^{(1)}$ мм.ок	$= 3,56x_2^{(1)}$	$= 3,57x_2^{(1)}$	$= 3,56x_2^{(1)}$	$= 3,57x_2^{(1)}$	$= 3,56x_2^{(1)}$	$= 3,57x_2^{(1)}$	$= 3,56x_2^{(1)}$
7	Действ.ст-т на едно ек. деление мм/мм	0,281	0,280	0,281	0,280	0,281	0,280	0,281
8	Теор.уравн. на апр.пр. $\bar{y}_{\text{осн2 теор.}}^{(1)}$	$= 4 \cdot x_2^{(1)}$ мм. скални						

Експериментални резултати получени при допълнително въздей-
ствие $x_d^{(1)}$ върху прътена (ЕДМП), формирано ръчно.

Табл.3.9.

№	Зад. ст-т в $x^{(1)}$ мм	Максим. гранич. ст-ти на рег. в $\bar{x}$ мм	№	Зад. ст-т в $x^{(1)}$ мм	Максим. гранич. ст-ти на рег. в $\bar{x}$ мм	№	Зад. ст-т в $x^{(1)}$ мм	Максим. гранич. ст-ти на рег. в $\bar{x}$ мм	№	Зад. ст-т в $x^{(1)}$ мм	Максим. гранич. ст-ти на рег. в $\bar{x}$ мм
1	0	10	14	65	9	27	130	7	40	195	5
2	5	10	15	70	9	28	135	7	41	200	5
3	10	10	16	75	8,5	29	140	7	42	205	4,5
4	15	10	17	80	8,5	30	145	6,5	43	210	4,5
5	20	10	18	85	8,5	31	150	6,5	44	215	4,5
6	25	9,5	19	90	8,5	32	155	6,5	45	220	4,0
7	30	9,5	20	95	8,5	33	160	6,5	46	225	4,0
8	35	9,5	21	100	8,0	34	165	6,0	47	230	3,5
9	40	9,5	22	105	8,0	35	170	6,0	48	235	3,5
10	45	9,0	23	110	7,5	36	175	6,0	49	240	3,0
11	50	9,0	24	115	7,5	37	180	5,5	50	245	3,0
12	55	9,0	25	120	7,0	38	185	5,5			
13	60	9,0	26	125	7,0	39	190	5,5			

Експериментални резултати получени при задаване
на образцови сили, формирани посредством теглилки.

Табл.3.10.

№ н (2)	Зад. ст. $X^{(2)}$ 10^{-2} Н	Действит. значение на задав. стойн. на интервал $X_n^{(2)} - X_{n-1}^{(2)}$ 10^{-2} Н	Средно зна- чение X-мм. скалки		№ н (2)	Зад. ст. $X^{(2)}$ 10^{-2} Н	Действит. значение на задав. стойн. на интервал $X_n^{(2)} - X_{n-1}^{(2)}$ 10^{-2} Н	Средно зна- чение X-мм. скалки	
			прав ход	обрат. ход				прав ход	обрат. ход
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	4,75	29	28	0,999	6,25	6,00
2	1	0,998	5,00	6,25	30	29	0,999	5,50	5,75
3	2	1,000	5,50	5,50	31	30	0,988	5,50	5,50
4	3	0,996	5,25	5,75	32	31	0,998	5,25	5,25
5	4	1,002	6,25	6,00	33	32	1,000	5,00	5,50
6	5	0,998	5,00	5,75	34	33	0,999	5,75	5,50
7	6	0,998	6,00	5,50	35	34	1,000	5,50	5,00
8	7	1,001	5,50	5,50	36	35	1,008	5,00	5,25
9	8	0,999	5,75	5,50	37	36	0,998	5,00	5,50
10	9	0,999	5,50	5,50	38	37	1,001	5,50	5,25
11	10	0,988	5,75	5,25	39	38	0,988	5,00	5,00
12	11	0,998	5,25	6,00	40	39	1,000	5,00	5,00
13	12	1,001	6,00	5,75	41	40	1,003	5,25	5,25
14	13	0,998	5,75	5,50	42	41	0,998	5,25	5,50
15	14	1,000	5,25	5,75	43	42	1,001	5,50	5,25
16	15	1,008	5,75	5,50	44	43	0,998	5,00	5,00
17	16	0,998	5,50	5,50	45	44	1,000	5,00	5,00
18	17	1,001	5,50	5,50	46	45	1,008	5,25	5,25
19	18	0,998	5,75	5,25	47	46	0,998	5,00	5,25
20	19	0,998	5,50	5,25	48	47	0,999	5,50	5,50
21	20	1,026	5,25	5,50	49	48	0,998	5,25	5,25
22	21	0,998	5,50	5,50	50	49	1,000	5,00	5,75
23	22	1,001	5,50	5,50	51	50	1,001	5,75	5,25
24	23	0,998	5,50	5,50	52	51	0,998	5,00	5,50
25	24	1,000	5,50	5,75	53	52	0,999	5,50	5,50
26	25	1,008	6,00	5,25	54	53	0,998	5,50	5,25
27	26	0,998	5,25	5,75	55	54	1,000	5,50	5,25
28	27	1,001	5,75	6,00	56	55	1,008	5,00	5,50

Табл.3.10-продължение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
57	56	0,998	5,25	5,25	95	94	1,000	5,75	5,75
58	57	1,001	5,00	5,25	96	95	1,008	6,00	5,50
59	58	0,995	5,50	5,25	97	96	0,998	5,50	5,75
60	59	1,000	5,50	5,25	98	97	1,001	5,75	5,75
61	60	0,989	5,25	5,25	99	98	0,998	5,75	5,75
62	61	0,998	5,00	5,25	100	99	1,000	5,75	6,00
63	62	0,999	5,25	6,00	101	100	0,995	5,75	5,75
64	63	0,998	5,50	5,50	102	101	0,998	5,75	5,50
65	64	1,000	6,25	5,50	103	102	1,001	5,25	5,50
66	65	1,008	5,25	5,25	104	103	0,998	5,50	5,50
67	66	0,998	5,50	5,50	105	104	1,000	5,50	5,50
68	67	1,001	5,50	5,25	106	105	1,012	5,50	5,50
69	68	0,998	5,00	6,00	107	106	0,998	5,50	5,75
70	69	1,000	6,00	5,75	108	107	1,001	5,75	5,50
71	70	1,024	5,75	6,00	109	108	0,999	5,75	5,75
72	71	0,998	6,00	5,75	110	109	1,000	5,50	5,50
73	72	1,001	5,50	5,50	111	110	0,988	5,50	5,50
74	73	0,998	5,25	5,25	112	111	0,998	5,00	5,25
75	74	1,000	5,50	5,50	113	112	1,001	5,50	5,25
76	75	1,012	5,00	6,00	114	113	0,998	5,25	5,50
77	76	0,998	6,00	5,50	115	114	1,000	5,50	5,25
78	77	1,001	5,25	5,50	116	115	1,008	5,25	5,00
79	78	0,998	5,75	5,75	117	116	0,998	5,00	5,00
80	79	1,000	6,00	5,50	118	117	1,001	5,00	5,25
81	80	0,998	5,75	5,75	119	118	0,998	5,25	5,50
82	81	0,998	5,75	5,50	120	119	1,000	5,75	5,50
83	82	1,000	5,75	5,50	121	120	1,024	5,50	5,25
84	83	0,999	5,50	5,75	122	121	0,998	5,25	5,25
85	84	1,000	6,00	6,00	123	122	1,001	5,00	5,25
86	85	1,008	6,00	6,00	124	123	0,998	5,50	5,00
87	86	0,998	6,00	5,25	125	124	1,000	5,00	5,50
88	87	1,001	5,25	5,75	126	125	1,008	5,50	5,25
89	88	0,998	6,00	5,75	127	126	0,998	5,50	5,25
90	89	1,000	5,75	5,50	128	127	1,001	5,25	5,25
91	90	1,003	5,75	5,75	129	128	0,998	5,25	5,25
92	91	0,998	5,75	5,50	130	129	1,000	5,50	5,50
93	92	1,001	5,50	5,75	131	130	0,998	5,25	5,50
94	93	0,998	6,00	6,00	132	131	0,998	5,50	5,00

Табл.3.10 - продължение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
133	132	1,001	5,00	5,25	148	147	1,001	5,50	5,25
134	133	0,998	5,25	5,25	149	148	0,998	5,50	5,75
135	134	1,000	5,50	5,25	150	149	1,000	5,75	5,50
136	135	1,008	5,00	5,25	151	150	1,001	5,75	5,75
137	136	0,998	5,25	5,50	152	151	0,998	5,50	5,50
138	137	1,001	5,50	5,50	153	152	1,001	5,75	5,25
139	138	0,998	5,50	5,00	154	153	0,998	5,00	6,00
140	139	1,000	5,00	5,00	155	154	1,000	6,00	5,50
141	140	1,003	5,00	5,50	156	155	1,008	5,25	5,50
142	141	0,998	5,75	5,75	157	156	0,998	5,75	5,00
143	142	1,001	5,75	5,25	158	157	1,001	5,25	5,75
144	143	0,998	5,25	5,50	159	158	0,998	6,00	5,75
145	144	1,000	5,75	5,25	160	159	1,000	5,75	5,50
146	145	1,008	5,50	5,50	161	160	0,988	5,50	
147	146	0,998	5,00	5,50					

Грешки на тегляките по атестат

Табл.3.11.

Стойности и абсолютни грешки $-\Delta X_{(тегл)}^{(2)}$ на тегляките за задаване на образцови силови въздействия в гр. ($X \cdot 10^{-2} \text{H}$)									
ст.	1	2	2	5	10	20	20	50	100
гр.	-0002	-0,001	-0002	+0005	-0,010	+0016	-0,005	+0014	+0,022

Статистическа обработка на експериментално получени резултати при измерване на сили (маса), формирани чрез тегляки

Табл.3.12.

№	Показатели при изключен нелинеен участък на пружинката	Прав ход	Обратен ход	Сумарни стойности
1	Количество наблюдения $n^{(2)}$ ($n=1 \rightarrow 316$)	158	158	316
2	Средно значение на задаваните интервални стойности $X^{(2)}$ от $\times 10^{-2} \text{H}$	1,000	1,000	1,000
3	Средна стойност на интервален участък - мм. скални	5,48	5,47	5,48
4	Средно-квадратична стойност на интервален участък - мм. скални	5,49	5,48	5,48
5	Средно-квадратично отклонение	0,320	0,262	0,292
6	Уравнение на апроксимираната права $Y_{оск}^{(2)}$ експ. $\times 10^{-2} \text{мм/Н}$	$-5,48X^{(2)}$	$-5,48X^{(2)}$	$-5,48X^{(2)}$
7	Действителна стойност на едно скално деление - $\times 10^{-2} \text{H/мм.}$	0,182	0,182	0,1822
8	Теоретично уравнение на апроксимираната права $Y_{оск}^{(2)}$ теор.	$6,4 X^{(2)} \times 10^{-2} \text{мм/Н}$		

Експериментални резултати получени при допълнително въздействие $X^{(2)}$ върху пръстена (ЕДИМП) формирано чрез ръчно прилагане на $X^{(1)}$

Табл. 3.13.

№	Зад. ст. в $X^{(2)}$ $\times 10^{-2}$ Н	Максим. гранич. ст-ти на рег. $\pm \times 10^{-2}$ Н	№	Зад. ст. в $X^{(2)}$ $\times 10^{-2}$ Н	Максим. гранич. ст-ти на рег. $\pm \times 10^{-2}$ Н	№	Зад. ст. в $\times 10^{-2}$ Н	Максим. гранич. ст-ти на рег. $\pm \times 10^{-2}$ Н	№	Зад. ст. в $\times 10^{-2}$ Н	Максим. гранич. ст-ти на рег. $\pm \times 10^{-2}$ Н
1	0	2,00	41	40	1,61	81	80	1,29	121	120	0,93
2	1	2,00	42	41	1,60	82	81	1,29	122	121	0,91
3	2	2,00	43	42	1,60	83	82	1,28	123	122	0,91
4	3	1,98	44	43	1,59	84	83	1,28	124	123	0,89
5	4	1,98	45	44	1,59	85	84	1,27	125	124	0,88
6	5	1,95	46	45	1,58	86	85	1,26	126	125	0,87
7	6	1,93	47	46	1,58	87	86	1,26	127	126	0,86
8	7	1,92	48	47	1,57	88	87	1,26	128	127	0,85
9	8	1,88	49	48	1,56	89	88	1,25	129	128	0,84
10	9	1,85	50	49	1,56	90	89	1,24	130	129	0,83
11	10	1,85	51	50	1,56	91	90	1,23	131	130	0,82
12	11	1,80	52	51	1,55	92	91	1,23	132	131	0,81
13	12	1,80	53	52	1,54	93	92	1,22	133	132	0,80
14	13	1,80	54	53	1,53	94	93	1,21	134	133	0,80
15	14	1,80	55	54	1,52	95	94	1,20	135	134	0,78
16	15	1,76	56	55	1,52	96	95	1,20	136	135	0,75
17	16	1,73	57	56	1,52	97	96	1,19	137	136	0,73
18	17	1,73	58	57	1,51	98	97	1,18	138	137	0,73
19	18	1,72	59	58	1,51	99	98	1,17	139	138	0,72
20	19	1,72	60	59	1,50	100	99	1,16	140	139	0,73
21	20	1,71	61	60	1,50	101	100	1,15	141	140	0,70
22	21	1,71	62	61	1,49	102	101	1,14	142	141	0,70
23	22	1,71	63	62	1,48	103	102	1,13	143	142	0,69
24	23	1,70	64	63	1,47	104	103	1,12	144	143	0,67
25	24	1,69	65	64	1,47	105	104	1,11	145	144	0,65
26	25	1,69	66	65	1,46	106	105	1,10	146	145	0,65
27	26	1,69	67	66	1,45	107	106	1,09	147	146	0,65
28	27	1,68	68	67	1,45	108	107	1,09	148	147	0,64
29	28	1,68	69	68	1,45	109	108	1,09	149	148	0,64
30	29	1,67	70	69	1,44	110	109	1,08	150	149	0,62
31	30	1,66	71	70	1,43	111	110	1,08	151	150	0,60
32	31	1,65	72	71	1,42	112	111	1,07	152	151	0,58
33	32	1,64	73	72	1,41	113	112	1,06	153	152	0,56
34	33	1,64	74	73	1,40	114	113	1,04	154	153	0,56
35	34	1,64	75	74	1,38	115	114	1,03	155	154	0,55
36	35	1,63	76	75	1,38	116	115	1,02	156	155	0,53
37	36	1,63	77	76	1,38	117	116	0,99	157	156	0,50
38	37	1,63	78	77	1,35	118	117	0,96	158	157	0,48
39	38	1,63	79	78	1,33	119	118	0,96	159	158	0,48
40	39	1,62	80	79	1,30	120	119	0,94	160	159	0,46
									161	160	0,46

3.4. Изводи

1. За провеждане на теоретични и експериментални изследвания на метрологичните и експлоатационни възможности на измервателните устройства, изградени чрез използване на ЕДПМ и проверка на възможностите за реализиране на метода за допълнително въздействие върху ЕДПМ е предложен и реализиран модел на еластичен първичен преобразователен елемент във вид на пръстен, като оригинален мултипликатор на механични премествания и сили с комплексен характер на извършваните по отношение на измерваната физична величина допълнителни корекции.

2. Проведен е теоретичен анализ на възможностите за преобразуване на механични премествания и сили (маса) с използването на предложения ЕДПМ. Установени са аналитичните зависимости между геометричните параметри на отделните елементи на модела, физичните свойства на използваните материали и др., като са получени стойности на крайните резултати за относителните грешки на СИ и коригиращите устройства, както и на цялостните метрологични параметри на реализираното схемно решение.

3. Реализирана е оригинална оптико-механична схема за увеличаване измервателния диапазон на пружинно-оптичен механизъм, използван за регистриране на получаваните във вид на механични премествания крайни резултати. Предложена е втора оригинална оптико-механична схема с аналогични възможности и намалена конструктивна сложност.

4. За обезпечаване на необходимите експериментални и метрологични изследвания на предложения метод и първичен машабен преобразовател е разработен и реализиран оригинален лабораторен стенд с намалена конструктивна сложност, подобрени

(по отношение на съществуващите аналогични по назначение устройства) метрологични показатели и широки експлоатационни възможности.

5. За нормативно осигуряване на метрологичните и експериментални изследвания са разработени следните методики за изпитания: при преобразуване на механични премествания; при допълнително въздействие за корекция на грешки, възникващи в процеса на измерване на механични премествания; при корекция на грешки, възникващи в процеса на измерване на сили (маса) и при преобразуване на сили (маса). В тази връзка е разгледана възможността за прилагане на метода на заместване при увеличаване диапазона на формираната образцова физична величина.

6. Представени са обобщени резултати от извършени лабораторни експериментални изследвания при сравнителни измервания на механични премествания и сили, като и от проверката на възможностите за прилагане на метода за допълнително въздействие. Експериментално е потвърдена правомерността на теоретичните изводи за възможностите на предложените първичен мащабен преобразувател, метод и модел на комбинирано измервателно устройство.

Г Л А В А 4

УСТРОЙСТВА ЗА СТАТИЧНО ФОРМИРАНЕ И ИЗМЕРВАНЕ НА ВЪРТЯЩ МОМЕНТ ОТ СИЛА

Разгледаната в гл.2 схема за функционално-възлова унификация може да бъде приложена за създаване на устройства за измерване на различни по природа физични величини.

В гл.4 е разгледан вариант на схемата, използван при изграждане на устройства за статично формиране и измерване на въртящ момент от сила при взаимодействието на две основни физични величини – дължина (рамо) и сила (двоица сили), като достоверността на получаваната съставна физична величина се гарантира чрез прилагане на методите и средствата за повишаване на точността, изложени в гл.2.

В тази връзка, са изследвани метрологичните и експлоатационни параметри на обобщена структурна и кинематична схеми на СИ на въртящ момент от сила на образцово устройство за проверка на динамометрични ключове, създаване на концепция и идеен проект за Национален еталон за въртящ момент от сила. Приведени са експериментални резултати и са анализирани възможностите за унификация при разработка на СИ от указания вид.

Основните резултати от гл.4 са отразени в [64, 67, 69 ÷ 73, 95, 97, 98, 100].

4.1. Основни етапи на предварителния анализ

Както бе показано в параграф 2.3.1, задачата за функционално моделиране на устройства за измерване на въртящ момент от сила се декомпозира на шест основни нива.

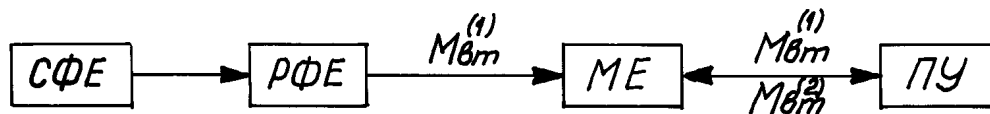
4.1.1. Обобщена блокова схема на устройството (първо ниво)

Обобщената блокова схема на устройството се изгражда така, че да осигурява възможно най-късата верига за формиране на единицата, като се спазва принципа на Абе при нейното предаване и сравняване със стойността на проверяваната физическа величина. Така блоковата схема на измервателно устройство (ИУ) за формиране на въртящ момент от сила $M_{BT}^{(1)}$ с по-висока точност (фиг.4-1.) е съставена чрез последователно свързване на следните основни структурни единици - елементи: силоформиращ елемент (СФЕ) - сила; рамоформиращ елемент (РФЕ) - рамо; междинен елемент (МЕ) за предаване чрез механични връзки на формирания въртящ момент към проверяваното устройство (ПУ) и сравняване с формирания от него $M_{BT}^{(2)}$ е означена с еднопосочна стрелка ($\rightarrow$), а фазата на измерване (сравняване на $M_{BT}^{(1)}$ с $M_{BT}^{(2)}$ - с двупосочна стрелка ($\leftrightarrow$).

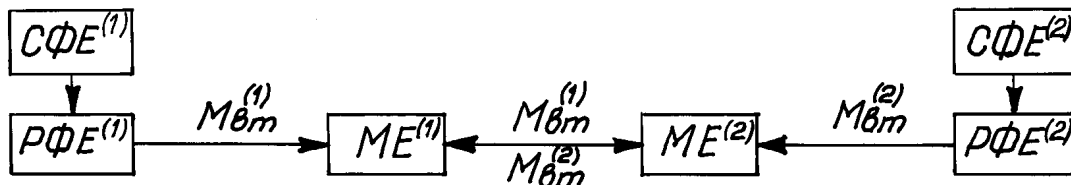
Проверяваното устройство може да има произволна структура, но в общия случай се приема, че то не е по-сложно от измервателното и включва елементи, аналогични на тези, от които се изгражда и измервателното устройство, при което обобщената блокова схема се изгражда съгласно фиг.4-2.

Тази схема се използва също при атестация и проверка на устройството, като за целта към него вместо ПУ се включва образцово с по-висока точност.

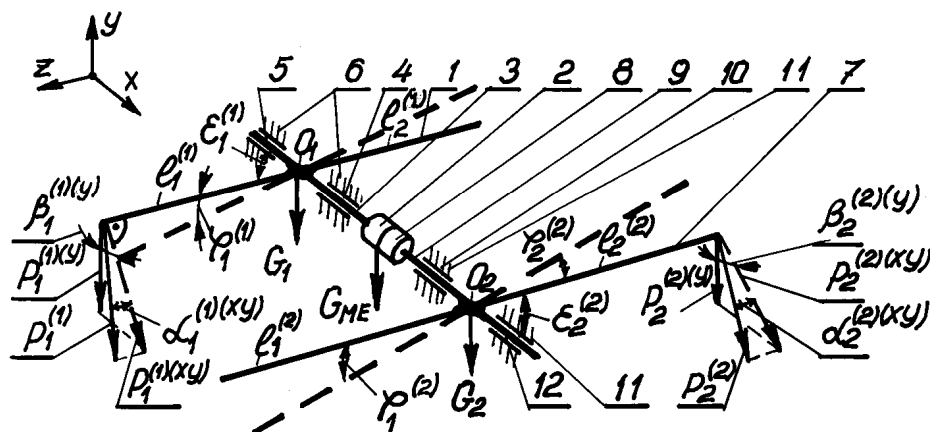
Обобщеният физичен модел се изгражда (фиг.4-3) на основата на обобщената блокова схема (фиг.4-2). Той представя



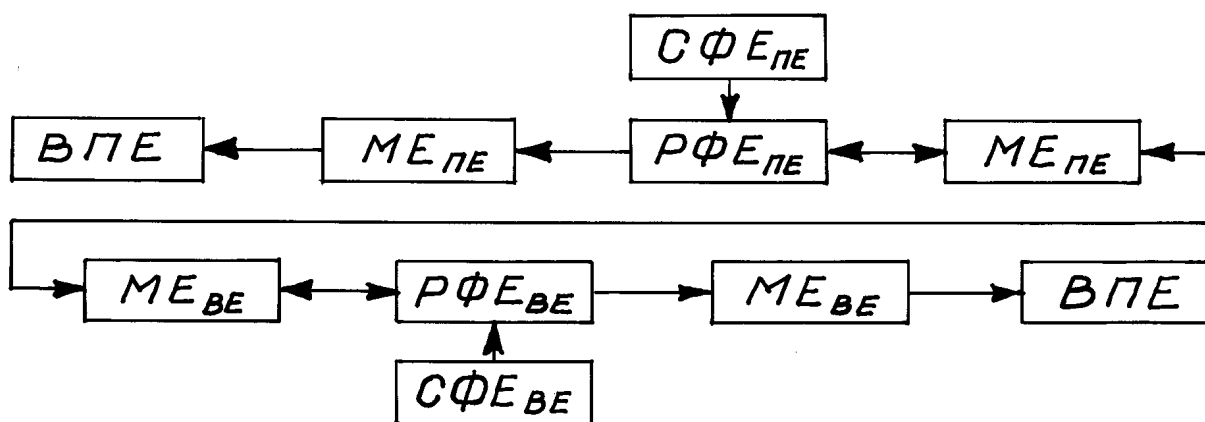
Фиг.4-1. Блокова схема на измервателно устройство за формиране и предаване на въртящ момент от сила.



Фиг.4-2. Обобщена блокова схема на еднотипни устройства, формиращи въртящи моменти с по-висока ($M_{\theta m}^{(1)}$) и по-ниска ($M_{\theta m}^{(2)}$) точност, свързани в режим на взаимно сравняване на моментите.



Фиг.4-3. Обобщен физичен модел на еднотипни устройства за формиране и сравняване на въртящи моменти от сила с по-висока и по-ниска точност.



Фиг.4-4. Обобщена блокова схема на еталонен комплекс, включващ самостоятелно обособени първичен и вторичен еталон за въртящ момент от сила, с осигурена възможност за взаимно свързване и сравняване на формираните въртящи моменти.

взаимодействието на основните физични величини сила и рамо и осигурява метрологичните и експлоатационни параметри на устройството при минимална сложност на схемното решение. Приема се РФЕ да бъде изпълнен като двураменен лост 1 (РФЕ⁽¹⁾) за формиране на въртящи моменти с променлива посока на въртене. За целта, към края на едно от рамената на лоста с дължина $l^{(1)}$ се прилага сила $P^{(1)}$, формирана от СФЕ⁽¹⁾. Останалите елементи на устройството са както следва: междинен елемент 3, лагерни опори 4 и 5 и стойка 6.

Образцовото или проверяваното устройство включват: двураменен лост 7 (РФЕ⁽²⁾) с дължина на рамената $l^{(2)}$; междинен елемент (МЕ) вал 9; лагерни опори 10 и 11; сила $P^{(2)}$ формирана от СФЕ⁽²⁾, която е приложена към едно от рамената на лоста 7; стойка 12.

Приема се, че осите на въртене на РФЕ и РФЕ съвпадат, при което се формира обща ос на въртене O_1-O_2 .

За описания обобщен физичен модел, идеални условия за формиране на въртящи моменти от двете устройства се осигуряват, когато направленията на векторите $\vec{P}^{(1)}$ и $\vec{P}^{(2)}$ са перпендикулярни на съответните рамена $l^{(1)}$ и $l^{(2)}$ и на тяхната обща ос O_1O_2 на въртене. Тогава са в сила равенствата:

$$\vec{P}^{(1)} \times \vec{l}^{(1)} = 0, \vec{P}^{(2)} \times \vec{l}^{(2)} = 0, \vec{P}^{(1)} \times \vec{O_1O_2} = 0, \vec{P}^{(2)} \times \vec{O_1O_2} = 0$$

В реални условия обаче, поради ъглови отклонения на единичните вектори на основните физични величини ($\alpha^{(1)}, \beta^{(1)}, \gamma^{(1)}, \alpha^{(2)}, \beta^{(2)}, \gamma^{(2)} \neq 0, \epsilon^{(1)}, \epsilon^{(2)} \neq 90^\circ$) равенствата се нарушават.

Въртящият момент от сила M_{BT} , като съставна физична величина, формирана при взаимодействието на основните физични величини сила P и рамо l , се определя от зависимостта:

$$(4.1.) \quad M_{BT} = P \cdot l$$

В този случай, ъгълът между вектора на силата и рамото е

равен на 90° и равнината, която те определят, е перпендикулярна на оста на въртене на рамото.

Грешката на формирания въртящ момент M_{BT} се определя от:

$$(4.2.) \Delta M_{BT} = \Delta P \cdot l + \Delta l \cdot P,$$

където ΔP - грешка в стойността на силата, Δl - грешка в дължината на рамото.

За изложения на фиг.4-3 физичен модел стойностите на формираните идеални въртящи моменти от сила се определят от:

$$(4.3.) M_{BTj}^{(p)} = P_j^{(p)} \cdot l_j^{(p)} \cdot \cos \alpha_j^{(p)}(xy) \cdot \cos \beta_j^{(p)}(y) \cdot \sin \epsilon_j^{(p)} \cdot \cos \varphi_j^{(p)} - M_{трj}^{(p)}$$

Тук: $M_{трj}^{(p)} = M_{трj}^{(p)} \text{ пост} + M_{трj}^{(p)} \text{ пром}$ - момент на триене на лагерните опори 5, 6, 10 и 11 с постоянна ($M_{трj}^{(p)} \text{ пост}$) и променлива ($M_{трj}^{(p)} \text{ пром}$) съставка; $M_{BTj}^{(p)}$ - ($p=1$ за моментоформираща система с по-висок клас на точност и $p=2$ за моментоформираща система с по-нисък клас на точност, $j=1$ при формиране на M_{BTj} чрез рамо 1 с условно лява посока на въртене и $j=2$ при формиране на M_{BTj} чрез рамо 2 с условно дясна посока на въртене). $P_j^{(p)}$ - сила формирана с по-висока ($p=1$) и по-ниска ($p=2$) точност, приложена към рамо 1 ($j=1$) или рамо 2 ($j=2$) на РФЕ;
 $l_j^{(p)}$ - дължина на рамо 1 ($j=1$) или рамо 2 ($j=2$) формирана с по-висока ($p=1$) или по-ниска ($p=2$) точност; $\alpha_j^{(p)}(xy)$, $\beta_j^{(p)}(y)$, $\epsilon_j^{(p)}$, $\varphi_j^{(p)}$ - ъглови отклонения на основните физични величини, определени с по-голяма ($p=1$) или по-малка ($p=2$) точност при формиране на $M_{BTj}^{(p)}$; $\alpha_j^{(p)}(xy)$ е ъглово отклонение на силата $P_j^{(p)}$ спрямо нейната проекция $P_j^{(p)}(xy)$ върху равнината, определена от осите X, Y, на координатната система XUZ, свързана с РФЕ; $\beta_j^{(p)}(y)$ - ъглово отклонение на $P_j^{(p)}(xy)$ спрямо оста Y.

От 4.2. за грешката $\Delta M_{BTj}^{(1)}$ получаваме:

$$\begin{aligned} \Delta M_{BTj}^{(p)} &= (M_{BTj}^{(p)} + \Delta M_{BTj}^{(p)}) - M_{BT}^{(p)} = (\Delta P_j^{(p)} \cdot 1_j^{(p)} + \Delta 1_j^{(p)} \cdot P_j^{(p)}) \cdot \\ &\cdot \cos(\alpha_j^{(p)}(xy) + \Delta \alpha_j^{(p)}(xy)) \cdot \cos(\beta_j^{(p)}(y) + \Delta \beta_j^{(p)}(y)) \cdot \\ &\cdot \sin(\epsilon_j^{(p)} + \Delta \epsilon_j^{(p)}) \cdot \cos(\varphi_j^{(p)} + \Delta \varphi_j^{(p)}) + P_j^{(p)} \cdot 1_j^{(p)} \cdot \\ &\cdot [\cos(\alpha_j^{(p)}(xy) + \Delta \alpha_j^{(p)}(xy)) \cdot \cos(\beta_j^{(p)}(y) + \Delta \beta_j^{(p)}(y)) \cdot \\ &\cdot \sin(\epsilon_j^{(p)} + \Delta \epsilon_j^{(p)}) \cdot \cos(\varphi_j^{(p)} + \Delta \varphi_j^{(p)}) - \cos \alpha_j^{(p)}(xy) \cdot \cos \beta_j^{(p)}(y) \cdot \\ &\cdot \sin \epsilon_j^{(p)} \cdot \cos \varphi_j^{(p)}] + \Delta M_{Trj}^{(p)} \text{ пром.} \end{aligned}$$

Предавателните функции на устройствата и техните грешки се изразяват със зависимостите:

$$\begin{aligned} M_{BTj}^{(p)} &= P_j^{(p)} \cdot 1_j^{(p)} - M_{Trj}^{(p)} \\ (4.4) \Delta M_{BTj}^{(p)} &= (\Delta P_j^{(p)} \cdot 1_j^{(p)} + \Delta 1_j^{(p)} \cdot P_j^{(p)} + P_j^{(p)} \cdot 1_j^{(p)}) \cdot \\ &\cdot \cos \Delta \alpha_j^{(p)}(xy) \cdot \cos \Delta \beta_j^{(p)}(y) \cdot \cos \Delta \epsilon_j^{(p)} \cdot \cos \Delta \varphi_j^{(p)} - \\ &- P_j^{(p)} \cdot 1_j^{(p)} + \Delta M_{Trj}^{(p)} \text{ пром.} \end{aligned}$$

При извършване на проверки и атестации се сравняват формираните въртящи моменти

$$\begin{aligned} M_{BT1(2)}^{(1)} &= -M_{BT2(1)}^{(2)} \\ (4.5) \quad |P_{1(2)}^{(1)} \cdot 1_{1(2)}^{(1)} - M_{Tr1(2)}^{(1)}| &= |P_{2(1)}^{(2)} \cdot 1_{2(1)}^{(2)} - M_{Tr2(1)}^{(2)}| \end{aligned}$$

За гарантиране високото метрологично ниво при предаване на единицата трябва да бъде изпълнено неравенството

$$(4.6) \quad |\Delta M_{BTj}^{(2)}| \leq |10 \Delta M_{BTj}^{(1)}|$$

При наличие на отклонения $e_j^{(p)}$ и $\delta_j^{(p)}$ в съосността на двата РФЕ възниква грешка, действителната стойност $\Delta_{д BTj}^{(p)}$, на която за всеки формиран въртящ момент от сила се определя от:

$$(4.7) \Delta M_{д\text{в}тj}^{(p)} = \Delta M_{в\text{т}j}^{(p)} + M_{в\text{т}j\text{нес}}^{(p)} + M_{трj\text{нес}}^{(p)}$$

където: $M_{в\text{т}j\text{нес}}^{(p)} = M_{в\text{т}j\text{нес}}^{(p)}(M_{в\text{т}j}^{(p)}; e_j^{(p)}; \delta_j^{(p)})$ е отклонението в стойността на формирания въртящ момент от всеки РФЕ; $M_{трj\text{нес}}^{(p)} = M_{трj\text{нес}}^{(p)}(M_{в\text{т}j}^{(p)}; e_j^{(p)}; \mu^{(p)}; \delta_j^{(p)}; K^{(z)})$ е допълнителен момент на триене в лагерните опори на всеки РФЕ; $\mu^{(p)}$, $K^{(z)}$ - параметри на търкалящи лагерни опори ($z = 1$ за РФЕ⁽¹⁾ и $z = 2$ за РФЕ⁽²⁾); $e_j^{(p)}$ - ексцентрицитет, а $\delta_j^{(p)}$ - ъглово отклонение между осите на РФЕ^(p) при $M_{в\text{т}j}^{(p)}$ с условно лява ($j=1$) или условно дясна ($j=2$) посока на въртене, формиран с по-висока ($p=1$) или по-ниска ($p=2$) точност.

Разгледаните обобщена блокова схема и физичен модел позволяват реализирането на следните основни типове СИ:

- Високоточни устройства за статично формиране, предаване и сравняване на въртящ момент от сила чрез използване на един РФЕ;

- Високоточни комбинирани устройства за статично формиране, предаване и сравняване на въртящ момент от сила при съвместно действие на два РФЕ на устройства с различна точност.

Освен това, предлаганата схема позволява, както формирането и предаването на физичната величина въртящ момент от сила в съответствие с метрологичната схема, така и извършването на метрологична проверка и атестации.

Предложените обобщена блокова схема и физичен модел служат за създаване на конкретни измервателни устройства, изградени чрез унифицирани схемни и конструктивни решения. На тяхна основа е създадена и внедрена в метрологичната практика на Център по качеството - Плевен "Уредба за проверка на динамометрични ключове" [64, 67, 97, 98], а така също концепция и идеен проект на Национален еталон на НРБ за въртящ момент от сила [69 + 73, 100].

За блоковата схема на уредбата, при извършване на проверки е приета схемата, изложена на фиг.4-1, а физичният модел включва елементите на една от двете вериги за формиране на въртящ момент, показани на фиг.4-3 (поз. 1÷6 или поз. 7÷12). Формираният образцов въртящ момент за проверка на работните средства се прилага към работния квадрат на ключа, който следва да бъде фиксиран съсно с оста на РФЕ [98].

При атестация и проверка на уредбата се реализира обобщената блокова схема от фиг.4-2 и физичния модел от фиг.4-3. За целта, вместо ПУ, към МЕ се свързва втори РФЕ (двухраменен лост), който гарантира получаването на образцов въртящ момент с точност, поне на порядък по-висока.

Концепцията за изграждане на Национален еталон за въртящ момент от сила (Еталонен комплекс - ЕК) [69 ÷ 71, 73] е развитие и конкретизиране на обобщената блокова схема и физичен

модел, показани на фиг.4-2 и фиг.4-3. Предложен е комплексен еталонен РФЕ (КЕРФЕ), включващ два РФЕ с различни експлоатационни и метрологични възможности [100], с което се цели увеличаването на измервателния обхват на комбинираното устройство (ПЕ) с възможно най-висока точност, но със сравнително малък измервателен обхват. С негова помощ и прилагане на метода на заместване (гл.2) се атестира вторично еталонно устройство (ВЕ) с по-голям измервателен обхват. В този смисъл Националният еталон е наречен еталонен комплекс.

Формирането, предаването и сравняването на еталонен въртящ момент може да се извършва поотделно от всяко от еталонните устройства на комплекса или при тяхното съвместно действие. Така се разширяват възможностите на еталонния комплекс за проверка на разнообразни вторични подвижни еталонни и образцови СИ (ВШЕ).

Обобщената блокова схема на еталонния комплекс е представена на фиг.4-4. Физичният модел на комплекса е подобен на представения от фиг.4-3, като допълнително са включени елементите от блоковата схема на фиг.4-4.

При атестация и проверка на вторичното еталонно устройство чрез първичното, се реализират блоковата схема от фиг. 4-2 и физичния модел от фиг.4-3.

4.1.2. Основни елементи на устройство за формиране на въртящ момент от сила (второ ниво)

В съответствие със структурните схеми и физични модели, разгледани на първо ниво, уредбата за проверка на динамометрични ключове включва: образцов силоформиращ елемент (ОСФЕ); образцов рамоформиращ елемент (ОРФЕ); междинен елемент (МЕ); търкалящи лагерни опори и проверявано устройство (ПУ). Анализът показва [58, 69, 70, 73], че при формиране на статичен еталонен въртящ момент са най-подходящи схемните решения на ОСФЕ, реализиращи образцови сили $P_{oj}^{(p)}$, посредством образцови теглилки с маса $M_{oj}^{(p)}$ и на диск с радиус $R_{до}$ неподвижно закрепен върху вал, като силите се прилагат към периферията на диска чрез еластични връзки. Тази схема на взаимодействие между ОСФЕ и ОРФЕ елиминира влиянието на първичните грешки от отклоненията $\alpha_{oj}^{(p)}(x)$ и $\varepsilon_{oj}^{(p)}$, като стойността на образцовото ъглово отклонение $\beta_{oj}^{(p)}(y)$ е в пряка зависимост от точността, с която е хоризонтиран вала на диска ($p=1$ за ълови отклонения, определени с по-голяма точност и $p=2$ за ълови отклонения, определени с по-малка точност).

В този случай силата $P_{oj}^{(p)}$ и R_{oj} се определят от:

$$P_{oj}^{(p)} = M_{oj}^{(p)} \cdot \cos \beta_{oj}^{(p)}(y) ; R_{oj} = R \cdot \sin \varepsilon_{oj}^{(p)} ;$$

където: $R_o = R_{д} + 0,5 \cdot d_4$

Тук с a_4 е означена дебелината на гъвкавата връзка (сومانено въженце с диаметър d_4), измерена по направление на радиуса на диска R_d .

При проверка на динамометрични ключове (ДК), формираният образцов въртящ момент се прилага към неговия работен крайник. Оттук следва, че МЕ трябва да осигури леко, бързо и надеждно захващане и да гарантира с определена точност съсността на ОРФЕ и работния крайник на ДК.

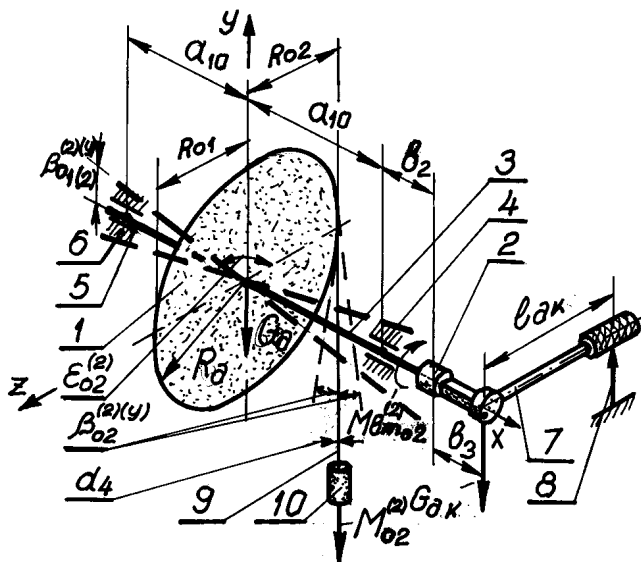
При извършване на проверка, рамото на ДК трябва да бъде фиксирано към стойката в подходяща точка от хватната му част.

Разнообразието в конструктивното изпълнение на ДК налага използването на лагерни опори, способни да поемат радиални натоварвания (в произволна посока), например търкалящи лагери.

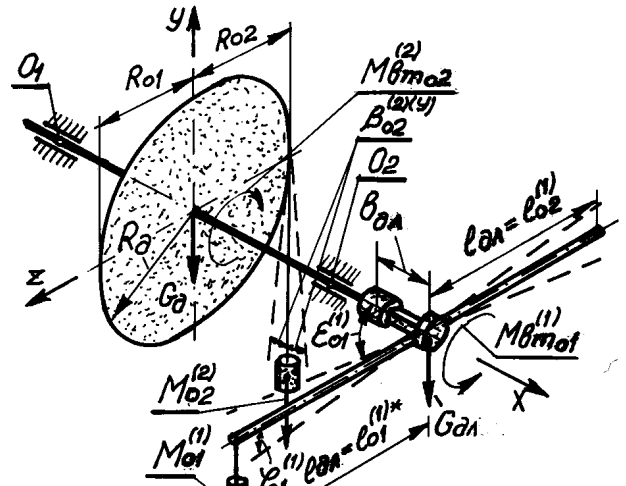
На фиг.4-5 е показана кинематичната схема на уредбата при проверка на ДК, изградена на основата на блоковата схема и физичният модел от фиг.4-1 и фиг.4-3, като са отчетени разгледаните допълнения. Приема се, че устройството ще формира образцов въртящ момент с по-нисък клас на точност ($M_{\text{вто}j}^{(2)}$), тъй като ДК се явява работно СИ.

Основните елементи на уредбата са както следва: ОРФЕ-2 (диск 1; МЕ 2; ос (вал) 3 с обща маса G_d); ОСФЕ-2 (теглилка 10 с маса $M_{o_j}^{(2)}$); еластична връзка 9, масата на която се пренебрегва; ПУ (ДК) 7 с маса $G_{\text{ДК}}$; упор на ПУ 8; лагерни опори 4 и 5; стойка 6, където: ОРФЕ-1(2) и ОСФЕ-1(2) са РФЕ и СФЕ с по-висока (по-ниска) точност.

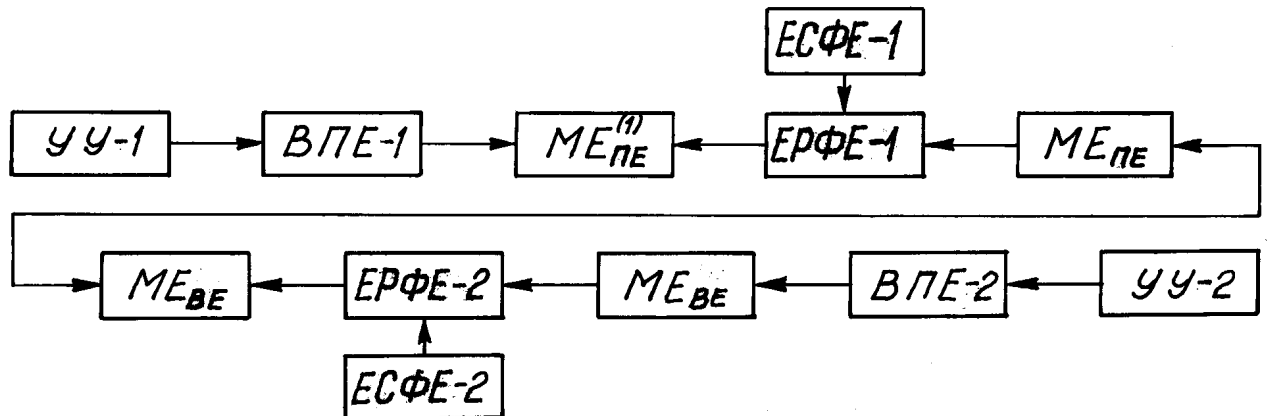
Съгласно схемата, действието на устройството включва формиране на образцов въртящ момент от сила, чрез окачване на теглилката 10 към периферията на диска 1 посредством еластичната връзка 9. Този момент се прилага чрез МЕ 2 към работния



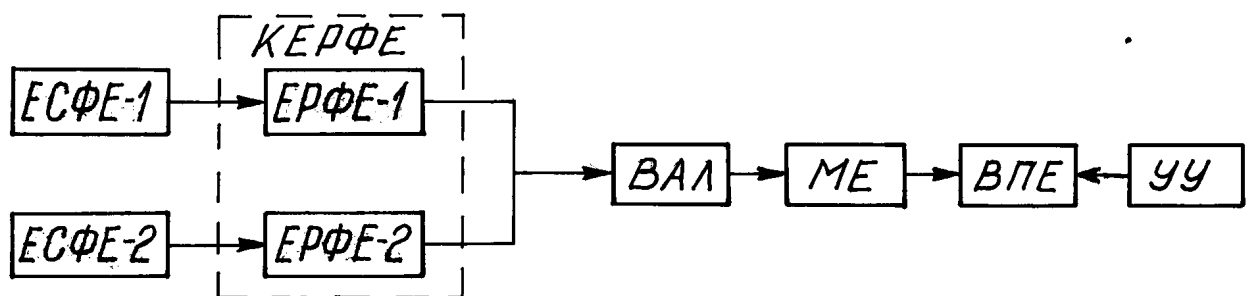
Фиг.4-5. Кинематична схема на УПДК с динамометричен ключ за проверка.



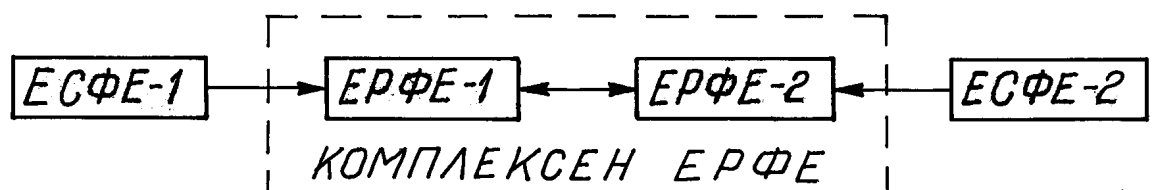
Фиг.4-6. Кинематична схема на УПДК с двураменен лост за проверка и атестация.



Фиг.4-7. Блокова схема на еталонен комплекс с двураменни лостове като рамо-формиращи елементи (РФЕ).



Фиг.4-8. Блокова схема на еталонен комплекс с комплексен рамо-формиращ елемент (КЕРФЕ).



Фиг.4-9. Блокова схема на КЕРФЕ в режим на проверка и атестация.

квадрат на проверяваното СИ 7. Показанието на неговото отчетно устройство се сравнява с действителната стойност на образцовия въртящ момент, след което се оценява годността на проверяваното СИ.

Предавателна функция на устройството

В процеса на проверката ДК не лагерува отделно. Съгласно (4.3) предавателната функция се определя както следва (фиг. 4-5):

$$(4.8) \quad M_{\text{ВТО}j}^{(2)} = M_{\text{O}j}^{(2)} \cos \beta_{\text{O}j}^{(2)}(y) \cdot R_{\text{O}j} \cdot \sin \xi_{\text{O}j}^{(2)} - M_{\text{ТРО}j}^{(2)}$$

$$M_{\text{ТРО}j}^{(2)} = M_{\text{ТРО}j \text{ пром}}^{(2)} + M_{\text{ТРО}j \text{ пост}}^{(2)} \quad [51] ,$$

където: $M_{\text{ТРО}j \text{ пром}}^{(2)} = M_{\text{ТРО}j \text{ пром}}^{(2)}(M_{\text{O}j}^{(2)}, \mu_{\text{O}}^{(2)}, K^{(2)}, l_{\text{ДК}}, a_{10},$

$v_2, v_3, K_{\text{Д}2}), M_{\text{ТРО}j \text{ пост}}^{(2)} = M_{\text{ТРО}j \text{ пост}}^{(2)}(c_{\text{Д}}, c_{\text{ДК}}, M_{\text{ТРО}0 \text{ пост}}^{(2)}),$

$M_{\text{ТРО}0 \text{ пост}}^{(2)}$ - постоянна съставляща на ненатоварени опори, $K_{\text{Д}2}$ -

деформационен параметър на гъвкавата връзка (стоманено въженце) и неговия материал на опън, определящ намаляването на диаметъра под действие на $M_{\text{O}j}^{(2)}$. $a_{10}, v_2, v_3, l_{\text{ДК}}$ - дължини на елементи на ОРФЕ-2, съгласно фиг.4-5.

Забележка: Поради повишена якост на ОРФЕ-2 в направлението на прилаганите към неговата периферия сили $R_{\text{O}j}^{(2)}$, отклоненията в размера на $R_{\text{O}j}$ от деформация под действие на $M_{\text{O}j}^{(2)}$ се пренебрегват.

Схемното решение на извършваната проверка (фиг.4-5) практически възпроизвежда условията за експлоатация на ДК, което изключва необходимостта от отчитане на специфични за конкретното СИ особености. Във връзка с това, за грешката на приложения към ДК въртящ момент от сила $\Delta M_{\text{ВТО}j}^{(2)}$ съгласно (4.4) при

$\beta_{oj}^{(2)}(y) = \beta_{oj}^{(2)} = 0$ получаваме:

$$(4.9) \Delta M_{ВТОj}^{(2)} = (\Delta M_{oj}^{(2)} \cdot R_{oj} + \Delta R_{oj} \cdot M_{oj}^{(2)} + M_{oj}^{(2)} \cdot R_{oj}) \cdot \cos \Delta \beta_{oj}^{(2)}(y) \cdot \cos \Delta \epsilon_{oj}^{(2)} - M_{oj}^{(2)} \cdot R_{oj} + \Delta M_{ТРОj}^{(2)} \text{ пром.}$$

При несъосност между осите на РФЕ и работния накрайник на ДК, действителната грешка $\Delta M_{ДВТОj}^{(2)}$ на приложения към него въртящ момент се определя съгласно (4.7)

$$(4.10) \Delta M_{ДВТОj}^{(2)} = \Delta M_{ВТОj}^{(2)} + M_{ВТОj \text{ нес}}^{(2)} + M_{ТРОj \text{ нес}}^{(2)},$$

където: $M_{ВТОj \text{ нес}}^{(2)} = M_{ВТОj \text{ нес}}^{(2)} (M_{ВТОj}^{(2)}, e_{oj}^{(2)}, \delta_{oj}^{(2)})$ - отклонение в стойността на предавания образцов въртящ момент; $e_{oj}^{(2)}$ е ексцентрицитет, а $\delta_{oj}^{(2)}$ - ъглово отклонение на захващащите повърхнини на МЕ спрямо оста на ОРФЕ-2; $M_{ТРОj \text{ нес}}^{(2)} = M_{ТРОj \text{ нес}}^{(2)} (M_{ВТОj}^{(2)}, e_{oj}^{(2)}, \delta_{oj}^{(2)}, K^{(2)}, l_{ДК}, \mu_o^{(2)}, a_{10, B2, B3})$ - допълнителен момент на триене в лагерните опори.

Схемата за атестация и проверка на уредбата (фиг.4-6) е аналогична на схемата за проверка на ДК, което свежда до минимум стойностите на грешките при пренасяне на единицата. За целта към МЕ 2 се закрепва образцов двураменен лост (ОРФЕ-1) с маса $G_{ДЛ}$ (фиг.4-6), при който се реализира физичен модел от фиг.4-3. В този случай силата се формира посредством теглилки с маса $M_{oj}^{(1)}$, като оптималните стойности $R_{oj}^{(1)}$ (за сила) и $l_{oj}^{(1)}$ (за рамо) се определят както следва:

$$R_{oj}^{(1)} = M_{oj}^{(1)} \cdot \cos \beta_{oj}^{(1)}(y); l_{oj}^{(1)} = l_{oj}^{(1)\Sigma} \cdot \cos \varphi_{oj}^{(1)} \cdot \sin \epsilon_{oj}^{(1)}$$

като: $l_{oj}^{(1)\Sigma} = l_{oj}^{(1)\Sigma} (l_{ДЛ}; K_{ДО}^{(1)}; M_{oj}^{(1)})$ - дължина на рамената на ОРФЕ-1; $K_{ДО}^{(1)}$ - коефициент, характеризиращ деформационните параметри на рамената на ОРФЕ-1.

За предавателната функция на устройството получаваме:

$$(4.11) M_{ВТОj}^{(1)} = -M_{ВТОj}^{(2)} \Sigma$$

където: $M_{\text{ВТ}oj}^{(1)} = M_{oj}^{(1)} \cdot l_{oj}^{(1)\times} \cdot \cos \beta_{oj}^{(1)}(y) \cdot \sin \varphi_{oj}^{(1)} \sin \varepsilon_{oj}^{(1)}$ е въртящ момент, формиран от ОРФЕ-1 при атестация съгласно 4.3 и 4.8:

$$M_{\text{ВТ}oj}^{(2)\times} = M_{oj}^{(2)} \cdot R_{oj}^{(2)} \cdot \cos \beta_{oj}^{(2)}(y) \cdot \sin \varepsilon_{oj}^{(2)} - M_{\text{ТР}oj}^{(2)\times}; M_{\text{ТР}oj}^{(2)\times} = M_{\text{ТР}oj\text{пром}}^{(2)\times} + M_{\text{ТР}oj\text{пост}}^{(2)\times}; M_{\text{ТР}oj\text{пром}}^{(2)\times} = M_{\text{ТР}oj\text{пром}}^{(2)\times} (M_{oj}^{(1)}; M_{oj}^{(2)}; K_{д2}; \mu_o^{(2)}; K^{(2)}; a_{10}; v_2; v_{дл}); M_{\text{ТР}oj\text{пост}}^{(2)\times} = M_{\text{ТР}oj\text{пост}}^{(2)\times} (G_{д}; G_{дл}; M_{\text{ТР}oj\text{пост}}^{(2)}); v_{дл} - величина, аналогична по смисъл на v_3 от фиг.4-5.$$

За грешките на $M_{\text{ВТ}oj}^{(1)}$ и $M_{\text{ВТ}oj}^{(2)\times}$ при $\beta_{oj}^{(1)}(y), \beta_{oj}^{(2)}(y), \varphi_{oj}^{(1)} = 0$ и $\varepsilon_{oj}^{(1)} (\varepsilon_{oj}^{(2)} = 90^\circ)$ получаваме:

$$(4.11-a) \Delta M_{\text{ВТ}oj}^{(1)} = (\Delta M_{oj}^{(1)} \cdot l_{oj}^{(1)\times} + \Delta l_{oj}^{(1)\times} \cdot M_{oj}^{(1)} + M_{oj}^{(1)} \cdot \Delta l_{oj}^{(1)\times}) \cdot \cos \Delta \beta_{oj}^{(1)}(y) \cdot \cos \Delta \varphi_{oj}^{(1)} \cdot \cos \Delta \varepsilon_{oj}^{(1)} - M_{oj}^{(1)} \cdot l_{oj}^{(1)\times};$$

$$(4.11-b) \Delta M_{\text{ВТ}oj}^{(2)\times} = (\Delta M_{oj}^{(2)} \cdot R_{oj}^{(2)} + \Delta R_{oj}^{(2)} \cdot M_{oj}^{(2)} + M_{oj}^{(2)} \cdot \Delta R_{oj}^{(2)}) \cdot \cos \Delta \beta_{oj}^{(2)}(y) \cdot \cos \Delta \varepsilon_{oj}^{(2)} - M_{oj}^{(2)} \cdot R_{oj}^{(2)} + \Delta M_{\text{ТР}oj\text{пром}}^{(2)\times};$$

При несъосност между работния накрайник на ДЛ и РФЕ на устройството, за действителната грешка на приложения към МЕ въртящ момент формиран чрез лоста съгласно 4.7. получаваме:

$$(4.12) \Delta M_{\text{ДВТ}oj}^{(1)} = \Delta M_{\text{ВТ}oj}^{(1)} + M_{\text{ВТ}oj\text{нес}}^{(1)} + M_{\text{ТР}oj\text{нес}}^{(1)}$$

където: $M_{\text{ВТ}oj\text{нес}}^{(1)} = M_{\text{ВТ}oj\text{нес}}^{(1)} (M_{\text{ВТ}oj}^{(1)}; e_{oj}^{(1)}; \delta_{oj}^{(1)})$ - отклонение в стойността на предавания образцов въртящ момент; $e_{oj}^{(1)}$ - е эксцентрицитет, а $\delta_{oj}^{(1)}$ - ъглово отклонение на захващащите

повърхнини на МЕ спрямо оста на въртене на двураменния лост;

$$M_{\text{ТР}oj\text{нес}}^{(1)} = M_{\text{ТР}oj\text{нес}}^{(1)} (M_{\text{ВТ}oj}^{(1)}, e_{oj}^{(1)}, \delta_{oj}^{(1)}, \mu_o^{(2)}, K^{(2)}, l_{oj}^{(1)},$$

$a_{10}, v_2, v_{дл})$ - допълнителен момент на триене в лагерните опори.

Съгласно концепцията за изграждане на Национален еталон за въртящ момент от сила $[69 + 70]$, съответните структурни схеми и физични модели, разгледани на първо ниво, устройството съгласно фиг.4-7 включва: два СФЕ; два РФЕ; два МЕ; един свързващ елемент на двата РФЕ; две уравновесяващи устройства (УУ); два комплекта лагерни опори, и е осигурена възможност за извършване на разделна проверка на две ПУ.

Проведеният анализ $[69 + 70]$ показва, че на практика предложените блокова схема от фиг.4-4 и физичен модел от фиг.4-3 представляват първи вариант на разработваното СИ. Резултатите от внедряването на уредбата за проверка на ДК и високите изисквания към ЕК, доуточнича състава и връзките на неговите основни елементи, както следва:

	първичен еталон	вторичен (неподвижен) еталон
РФЕ	двухраменен лост-еталонен РФЕ (ЕРФЕ-1)	диск с радиус R де и вал - еталонен РФЕ (ЕРФЕ-2)
СФЕ	теглитки - еталонен СФЕ (ЕСФЕ-1)	механични силови устройства с високоточни динамометри - еталонен СФЕ (ЕСФЕ-2)
МЕ	О Б Щ за двата ЕРФЕ	
свързващ елемент - Л И П С В А		

Съгласно $[68+70, 73, 95, 100]$ двата РФЕ лост и диск, са обединени в един възел - комплексен ЕРФЕ, като елементите на диска поемат част от функциите на лоста. Това решение скъсява веригата за предаване на първичния еталонен въртящ момент към вторичния еталон (ВЕ) при взаимна атестация, а така също значително олекотява комплексния ЕРФЕ (КЕРФЕ).

В този случай, блоковата схема на устройството при извършване на проверки ще бъде съгласно фиг.4-8.

При атестация и проверка на ВЕ чрез ПЕ блоковата схема на устройството се изгражда съгласно фиг.4-9.

Изискванията за точност и достоверност при възпроизвеждане на силата към двата ЕСФЕ са особено високи [95]. Предлага се [69, 70] ЕСФЕ-1 да формира единицата посредством комплект от еталонни теглилки с маса M_{ejT} ($T = 1, \dots, W_1$, T - пореден номер на теглилка влизаща в състава на комплект от W_1 броя теглилки), а ЕСФЕ-2 - посредством механични силоформиращи устройства. Силата се прилага към периферията на диска посредством еластични връзки и се отчита от последователно свързани динамометри. Предвижда се едновременно да бъде прилагана двойца от равни сили, за изключване на допълнителните реакции в лагерните опори.

За оптималните стойности $R_{ej}^{(p)}$ и $R_{eq}^{(p)}$ на еталонните сили и $L_{ej}^{(1)}$, $L_{e1}^{(2)}$, $L_{e2}^{(2)}$ на еталонните рамена съгласно фиг.4-10 и фиг.4-11 получаваме:

$$\begin{aligned} R_{ej}^{(p)} &= M_{ejT} \cdot \cos \beta_{ej}^{(p)}(y); \quad L_{ej}^{(p)} = L_{ej}^{(p)*} \cdot \cos \varphi_{ej}^{(p)} \cdot \sin \bar{\epsilon}_{ej}^{(p)} \\ R_{eq}^{(p)} &= R_{eq-1}^{(p)} \cdot \cos \alpha_{eq-1}^{(p)}(xz) \cdot \cos \beta_{eq-1}^{(p)}(z) + R_{eq-2}^{(p)} \cdot \cos \alpha_{eq-2}^{(p)}(xz) \cdot \cos \beta_{eq-2}^{(p)}(z) \\ L_{e1}^{(p)} &= R_{e1}^{(p)*} \cdot \sin \bar{\epsilon}_{e1}^{(p)}; \quad L_{e2}^{(p)} = R_{e2}^{(p)*} \cdot \sin \bar{\epsilon}_{e2}^{(p)} \end{aligned}$$

където: $R_{eq}^{(p)}$ - двойца сили приложени към периферията на ЕСФЕ-2 с условно лява ($q=1$) и условно дясна ($q=2$) посока на въртене; $R_{eq-1}^{(p)}$ ($R_{eq-2}^{(p)}$) - единична сила 1 (2) от двойцата сили $R_{eq}^{(p)}$ с по-висока ($p=1$) или по-ниска ($p=2$) точност; $\alpha_{eq-1}^{(p)}(xz)$ ($\alpha_{eq-2}^{(p)}(xz)$) - ъгъл между силата $R_{eq-1}^{(p)}$ ($R_{eq-2}^{(p)}$) и нейната проекция върху равнина определяна от осите x, z , на координатна система x, y, z свързана с ЕСФЕ-2; $\beta_{eq-1}^{(p)}(z)$ ($\beta_{eq-2}^{(p)}(z)$) - ъгъл между проекцията $R_{eq-1}^{(p)}(xz)$ ($R_{eq-2}^{(p)}(xz)$) на силата $R_{eq-1}^{(p)}$ ($R_{eq-2}^{(p)}$) и оста z ; $\varphi_{ej}^{(p)}$, $\bar{\epsilon}_{ej}^{(p)}$ са ъгли определящи положението на ЕСФЕ-1 спрямо хоризонта и оста O_1O_2 на въртене (фиг.4-11), съгласно направения предварителен анализ на физичния модел представен на фиг.4-3; $\bar{\epsilon}_{e1}^{(p)}$ ($\bar{\epsilon}_{e2}^{(p)}$) - ъгъл между $R_{e1}^{(p)}$ ($R_{e2}^{(p)}$) и оста на

въртене на ЕСФЕ-2; $l_{ej}^{(p)} = l_{ej}^{(p)}(l_{ej}^{(p)}; K_{де}^{(1)}; M_{ejT}); l_{ej}^{(p)}$ - дължина на рамо на ЕРФЕ-1; $K_{де}^{(1)}$ - коефициент, характеризиращ деформационните параметри на рамената на ЕРФЕ-1; $r_{e1(2)}^{(p)} = r_{e1(2)}^{(p)}(r_{e1(2)}^{(p)}; K_{де}^{(2)}, M_{ejT}); r_{e1(2)}^{(p)}$ - размер на радиус на ЕРФЕ-2, към който се прилагат сили $P_{eq-1}^{(p)}$ ($P_{eq-2}^{(p)}$) при формиране на $M_{ВТeq}^{(p)}$ с условно лява ($q=1$) и условно дясна ($q=2$) посока на въртене; $K_{де}^{(2)}$ - коефициент характеризиращ деформационните параметри на диска (ЕРФЕ-2) в сечение перпендикулярно на направлението на приложените към неговата периферия сили.

Формирането на първичен еталонен въртящ момент от сила изисква равновесно положение на двурамения лост и възможно най-малък триещ момент в лагерните опори. В тази връзка се предвижда ЕРФЕ да лагериува в стойката на централна призмена опора, а ЕСФЕ-1 да лагериуват върху двете рамена на странични призмени опори.

Предвижда се при формиране на въртящ момент от диска да бъде използвана както централната призмена опора, така и допълнителните търкалящи лагерни опори. Едновременното действие на двата вида опори се изключва. Така значително се увеличават метрологичните и експлоатационни параметри на ЕК.

Уравновесяващото устройство следва да осигури нормално прилагане на първичен и вторичен еталонен въртящ момент към вторичния подвижен еталон (ВНЕ) при извършване на проверка.

На фиг.4-10 е представена кинематичната схема на ЕК, изградена на базата на блоковите схеми от фиг.4-8 и фиг.4-9. Нейните основни елементи са комплексен ЕРФЕ с маса $G_{ке}$, включващ: условен ЕРФЕ-1 (лост) 1а и условен ЕРФЕ-2 (диск) 1б; МЕ 2; ЕСФЕ-1₁ (теглилки 13₁ с маса M_{e1} ; блюдо 11 с маса $G_{ол1}$); ЕСФЕ-1₂ (теглилки 13₂ с маса $M_{e1}^{(1)}$, блюдо 12 с маса $G_{ол2}$); ЕСФЕ-2₁ (силови устройства 14₁ и 14₂, еластични връзка 16₁ и

16₂); ЕСФЕ-2₂ (силови устройства 15₁ и 15₂, еластични връзки 17₁ и 17₂); уравновесяващо устройство (УУ) - 18; ПУ (ВПЕ) - 19 с маса $G_{\text{впе}}$.

В изходно положение, преди започване на проверката, ПУ е свързано с МЕ и УУ с твърди механични връзки.

Формирането на оптимален по стойност първичен еталонен въртящ момент се постига при равновесно положение на двураменния лост (ЕРФЕ-1). При необходимост, УУ завърта системата "ПУ-МЕ-ЕРФЕ-1" в една или друга посока.

При формиране на вторичен еталонен въртящ момент, УУ в повечето случаи ще служи само като неподвижна опора на ПУ [69, 70, 72].

Съгласно блок-схемата от фиг.4-8 и кинематичната схема от фиг.4-10, устройството формира еталонен въртящ момент в следните основни варианти:

А. Посредством ЕРФЕ-1 и ЕСФЕ-1, аналогично на физичния модел от фиг.4-3.

Б. Посредством ЕРФЕ-2 и ЕСФЕ-2.

В. Посредством едновременното действие на ЕРФЕ-1; ЕСФЕ-1; ЕРФЕ-2; ЕСФЕ-2.

В идейния проект [73] се предвижда реализирането на два вида централни лагерни опори [69 ÷ 71] - призмена 4 и търкалящи 7 и 8. За осигуряване независимото действие на всеки вид опори се предвиждат повдигащи устройства 9 и 10, които при движение нагоре повдигат лагерните опори 7 и 8, а заедно с тях вала и КЕРФЕ, при което призмената опора се изключва.

Така се създават предпоставки за изграждане на ЕК, с възможност за практическа реализация на шест основни СИ с различни метрологични и експлоатационни параметри в зависимост от използвания РФЕ и вида на централната лагерна опора.

Предавателни функции на еталонния комплекс

Необходимо е да се изследват шест основни предавателни функции. Те се строят с помощта на физичния модел, представен на фиг.4-11, като означенията на отделните елементи са аналогични на тези от кинематичната схема на фиг.4-10.

Нека комплексния ЕРФЕ лагерува в централна призмена опора, при което се осигурява най-висока точност на основните физични величини рамо, сила и ъглови отклонения. Тогава: За вариант А предавателната функция се определя от (4.3) и (4.11):

$$(4.13) \quad M_{\text{ВТ}_{ej}}^{(1)} = M_{ej} \cdot l_{ej}^{(1)\times} \cdot \cos \beta_{ej}^{(1)(y)} \cdot \cos \varphi_{ej}^{(1)} \cdot \sin \varepsilon_{ej}^{(1)} - \\ - M_{\text{тр}_{e4}} - M_{\text{тр}_{e5}} - M_{\text{тр}_{e6}},$$

където: $M_{\text{тр}_{e4}}$, $M_{\text{тр}_{e5}}$ и $M_{\text{тр}_{e6}}$ са моменти на триене в призмевите опори 4, 5 и 6, определени съгласно [51]; $M_{\text{тр}_{e4}} = M_{\text{тр}_{e4}\text{пост}} + M_{\text{тр}_{e4}\text{пром}}$; $M_{\text{тр}_{e4}} = M_{\text{тр}_{e4}}(M_{ej}; K_e; G_{ke}; G_{ol1}; G_{ol2}; G_{впе})$; K_e - коефициент, характеризиращ съпротивителните параметри на призмени опори при статично натоварване; $M_{\text{тр}_{e5(6)}} = M_{\text{тр}_{e5(6)}\text{пост}} + M_{\text{тр}_{e5(6)}\text{пром}}$; $M_{\text{тр}_{e5(6)}} = M_{\text{тр}_{e5(6)}}(M_{ej}; K_e; G_{ol1}; G_{ol2})$

За грешката на формирания еталонен въртящ момент от сила от (4.4) и (4.11) а) получаваме:

$$(4.14) \quad \Delta M_{\text{ВТ}_{ej}}^{(1)} = (\Delta M_{ej} \cdot l_{ej}^{(1)\times} + \Delta l_{ej}^{(1)\times} \cdot M_{ej} + M_{ej} \cdot l_{ej}^{(1)\times}) \cdot \\ \cdot \cos \Delta \beta_{ej}^{(1)(y)} \cdot \cos \Delta \varphi_{ej}^{(1)} \cdot \cos \Delta \varepsilon_{ej}^{(1)} - M_{ej} \cdot l_{ej}^{(1)\times} + \\ + \Delta M_{\text{тр}_{e4}\text{пром}} + \Delta M_{\text{тр}_{e5}\text{пром}} + \Delta M_{\text{тр}_{e6}\text{пром}}$$

При наличие на отклонение $e_{ej}^{(1)}$ и $\delta_{ej}^{(1)}$ във взаимната съосност между комплексния ЕРФЕ и УУ действителната грешка се определя в отчитане на (4.7).

$$(4.15) \quad \Delta_{\text{д}} M_{\text{вт}_{\text{ej}}}^{(1)} = \Delta M_{\text{вт}_{\text{ej}}}^{(1)} + M_{\text{вт}_{\text{ej}} \text{нес}}^{(1)} + M_{\text{тр}_{\text{ej}} \text{нес}}^{(1)},$$

където: $M_{\text{вт}_{\text{ej}} \text{нес}}^{(1)} = M_{\text{вт}_{\text{ej}} \text{нес}}^{(1)} (M_{\text{вт}_{\text{ej}}}^{(1)}; e_{\text{ej}}^{(1)}; \gamma_{\text{ej}}^{(1)})$ и

$$M_{\text{тр}_{\text{ej}} \text{нес}}^{(1)} = M_{\text{тр}_{\text{ej}} \text{нес}}^{(1)} (M_{\text{вт}_{\text{ej}}}^{(1)}; e_{\text{ej}}^{(1)}; \gamma_{\text{ej}}^{(1)}; K_{\text{e}}; G_{\text{впе}})$$
 са

физични величини, аналогични на вече разгледаните в (4.12).

Съгласно [73] се предвижда прилагане на двустранно натоварване на ЕРФЕ-1 за осигуряване на плавно нарастване и намаляване стойността на формирания въртящ момент при намален общ брой W_1 на теглилките (виж т.4.3). За резултантната стойност на формирания въртящ момент $M_{\text{вт}_{\text{ej}} \text{рез}}^{(1)}$ в този случай получаваме:

$$(4.16) \quad M_{\text{вт}_{\text{ej}} \text{рез}}^{(1)} = M_{\text{вт}_{\text{e1}(2)}}^{(1)} - M_{\text{вт}_{\text{e2}(1)}}^{(1)} - M_{\text{тр}_{\text{e4} \text{рез}}}^{(1)} - M_{\text{тр}_{\text{e5}}}^{(1)} - M_{\text{тр}_{\text{e6}}}^{(1)},$$

където: $M_{\text{тр}_{\text{e4} \text{рез}}}^{(1)}$ е функция на $M_{\text{e1}}, M_{\text{e2}}, K_{\text{e}}, G_{\text{ке}}, G_{\text{ол1}}, G_{\text{ол2}}, G_{\text{впе}}$

Така за грешката на формирания еталонен момент по вариант А получаваме:

$$\Delta M_{\text{вт}_{\text{ej}} \text{рез}}^{(1)} = \Delta M_{\text{вт}_{\text{e1}(2)}}^{(1)} + \Delta M_{\text{вт}_{\text{e2}(1)}}^{(1)} \quad \text{или}$$

$$\Delta_{\text{д}} M_{\text{вт}_{\text{ej}} \text{рез}}^{(1)} = \Delta_{\text{д}} M_{\text{вт}_{\text{e1}(2)}}^{(1)} + \Delta_{\text{д}} M_{\text{вт}_{\text{e2}(1)}}^{(1)}$$

За вариант Б предавателната функция се определя от (4.8):

$$(4.17) \quad M_{\text{вт}_{\text{eq}}}^{(1)} = P_{\text{eq-1}}^{(1)} \cdot R_{\text{e1}}^{(1)*} \cdot \cos \alpha_{\text{eq-1}}^{(1)}(xz) \cdot \cos \beta_{\text{eq-1}}^{(1)}(z) \cdot \sin \bar{\epsilon}_{\text{eq}}^{(1)} + \\ + P_{\text{eq-2}}^{(1)} \cdot R_{\text{e2}}^{(1)*} \cdot \cos \alpha_{\text{eq-2}}^{(1)}(xz) \cdot \cos \beta_{\text{eq-2}}^{(1)}(z) \cdot \sin \bar{\epsilon}_{\text{e2}}^{(1)}$$

където: $P_{\text{eq-1}}^{(1)} (P_{\text{eq-2}}^{(1)})$ - стойност на сила, отчетена от силовия динамометър 14₁ (15₁) [14₂ (15₂)].

Отчитайки (4.9), грешката на формирания еталонен въртящ момент се определя от:

$$(4.18) \Delta M_{\text{ВТeq}}^{(1)} = (\Delta P_{\text{eq-1}}^{(1)} \cdot R_{\text{e1}}^{(1)*} + \Delta R_{\text{e1}}^{(1)*} \cdot P_{\text{eq-1}}^{(1)} + P_{\text{eq-1}}^{(1)} \cdot R_{\text{e1}}^{(1)*}).$$

$$\begin{aligned} & \cos \Delta \alpha_{\text{eq-1}}^{(1)}(xz) \cdot \cos \Delta \beta_{\text{eq-1}}^{(1)}(z) \cdot \cos \Delta \tilde{\epsilon}_{\text{e1}}^{(1)} - P_{\text{eq-1}}^{(1)} \cdot R_{\text{e1}}^{(1)*} + \\ & (\Delta P_{\text{eq-2}}^{(1)} \cdot R_{\text{e2}}^{(1)*} + \Delta R_{\text{e2}}^{(1)*} \cdot P_{\text{eq-2}}^{(1)} + P_{\text{eq-2}}^{(1)} \cdot R_{\text{e2}}^{(1)*}) \cdot \\ & \cdot \cos \Delta \alpha_{\text{eq-2}}^{(1)}(xz) \cdot \cos \Delta \beta_{\text{eq-2}}^{(1)}(z) \cdot \cos \Delta \tilde{\epsilon}_{\text{e2}}^{(1)} - P_{\text{eq-2}}^{(1)} \cdot R_{\text{e2}}^{(1)*} \end{aligned}$$

При наличие на несъосност между комплексния ЕРФЕ и УУ, действителната грешка съгласно (4.10) и (4.15) ще бъде:

$$(4.19) \Delta_{\text{д}} M_{\text{ВТeq}}^{(1)} = \Delta M_{\text{ВТeq}}^{(1)} + M_{\text{ВТeq}}^{(1)} \text{нес} + M_{\text{Треq}}^{(1)} \text{нес}$$

За вариант В формираният сумарен еталонен въртящ момент $M_{\text{ВТejq}}^{(1)}$ ще се определи както следва:

$$(4.20) M_{\text{ВТejq}}^{(1)} = M_{\text{ВТejрез}}^{(1)} + M_{\text{ВТeq}}^{(1)}$$

За грешката на формирания еталонен въртящ момент получаваме:

$$(4.21) \Delta M_{\text{ВТejq}}^{(1)} = \Delta M_{\text{ВТjрез}}^{(1)} + \Delta M_{\text{ВТeq}}^{(1)}$$

При наличие на несъосност между комплексния ЕРФЕ и УУ, за действителната грешка съгласно (4.19) получаваме:

$$(4.22) \Delta_{\text{д}} M_{\text{ВТejq}}^{(1)} = \Delta M_{\text{ВТejq}}^{(1)} + M_{\text{ВТejq}}^{(1)} \text{нес} + M_{\text{Треjq}}^{(1)} \text{нес}$$

Атестация на вторичния неподвижен еталон (ЕРФЕ-2) чрез ПЕ.

Този процес е особено важен за правилното нормиране на цялостните метрологични и експлоатационни характеристики на ЕК. Извършва се съгласно блоковата схема на фиг.4-8.

Процесът включва формиране на противоположни по посока на въртене моменти, посредством всеки ЕРФЕ, и тяхното сравняване при равновесно положение на ЕРФЕ-1 (лост).

За осигуряване на необходимото равновесно положение на системата "ЕРФЕ-1 - ЕРФЕ-2" при извършване на проверка, следва да бъде изпълнено условието:

$$(4.23) \quad M_{\text{ВТ}_{ej}}^{(1)} \text{ рез} = -M_{\text{ВТ}_{eq}}^{(1)}$$

или:

$$(4.24) \quad M_{\text{ВТ}_{e1(2)}}^{(1)} + M_{\text{ВТ}_{e2(1)}}^{(1)} + M_{\text{ВТ}_{eq}}^{(1)} = 0$$

Характерна особеност на процеса е прилагането на изложени-ния в гл.2 метод на заместване, тъй като измервателният об-хват на ПЕ е много по-малък от този на ВЕ [69 ÷ 71, 73].

За целта, след изчерпване обхвата на ПЕ, при което се формира $M_{\text{ВТ}_{ej}}^{(1)} \text{ макс} = M_{ej}^{(1)} \text{ макс} \cdot l_{ej}^{(1)*}$, неговото действие върху ВЕ плавно се замества чрез противоположната (ненатоварена) двойца сили на ВЕ, при което се формира $M_{\text{ВТ}_{eq}}^{(1)} = M_{\text{ВТ}_{ej}}^{(1)} \text{ макс}$.

След това атестацията продължава във вече разгледаната последователност, като максималната стойност на формирания от ВЕ въртящ момент ще се определи от 4.23 и 4.24 като:

$$(4.25) \quad M_{\text{ВТ}_{ej}}^{(1)} \text{ рез} + M_{\text{ВТ}_{eq}}^{(1)} \text{ рез} = 0$$

$$(4.26) \quad M_{\text{ВТ}_{e1(2)}}^{(1)} + M_{\text{ВТ}_{e2(1)}}^{(1)} + M_{\text{ВТ}_{eq}}^{(1)} + M_{\text{ВТ}_{eq}}^{(1)*} = 0$$

$$\text{където: } M_{\text{ВТ}_{eq}}^{(1)} \text{ рез} = M_{\text{ВТ}_{eq}}^{(1)} - M_{\text{ВТ}_{eq}}^{(1)*}; \quad M_{\text{ВТ}_{eq}}^{(1)*} = r \cdot M_{\text{ВТ}_{ej}}^{(1)} \text{ макс};$$

"r" е цяло число, което се равнява на броя на извършваните замествания.

От 4.26 за стойността на формирания от ВЕ въртящ момент от сила получаваме:

$$(4.27) \quad M_{\text{ВТ}_{eq}}^{(1)} = M_{\text{ВТ}_{ej}}^{(1)} \text{ рез} + r \cdot M_{\text{ВТ}_{ej}}^{(1)} \text{ макс}$$

В този случай за грешката при атестиране получаваме:

$$(4.28) \quad \Delta M_{\text{ВТ}_{eq}}^{(1)} = \Delta M_{\text{ВТ}_{ej}}^{(1)} \text{ рез} + r \cdot \Delta M_{\text{ВТ}_{ej}}^{(1)} \text{ макс}$$

където: $\Delta M_{\text{ВТ}_{ej}}^{(1)} \text{ макс}$ се определя от 4.18.

Двата РФЕ имат обща ос на въртене и обща централна лагер-на опора, поради което допълнителни грешки при взаимната ате-стация и взаимодействие няма да възникват. Това се явява едно от основните предимства на избраното схемно решение на КЕРФЕ.

II. Комплексният ЕРФЕ лагерува в лагерни опори 7 и 8 (виж фиг.4-10)

Предавателните функции и техните грешки за различните ва-рианتي в този случай се определят по аналогичен на вече раз-гледания начин.

При смяната на опорите ще настъпят незначителни промени в размерите на рамената на ЕРФЕ-1, радиусите на ЕРФЕ-2 и ъг-ловите отклонения α_e ; β_e ; ρ_e спрямо общата ос на въртене, предизвикани от отклонения в лагерните опори 7 и 8, еластич-ни деформации във вала и др. Тези промени определят стойности на основните физични величини с по-нисък клас на точност ($p=2$), но тяхното влияние върху крайният резултат е минимално. В случая, основните грешки ще се формират от стойностите на съпротивителните моменти на лагерните опори 7 и 8, които са значително по-големи от тези на призмения опори и на откло-ненията в съсността на КЕРФЕ и УУ.

4.1.3. Основни функционални групи (трето ниво)

Поради намалената сложност на схемното и конструктивно решение, на това ниво отделните елементи на уредбата за про-верка на ДК се декомпозира до групи, разчленени на отделни функционални възли, както следва: група ОСФЕ (възли: блюдо, окачващо устройство и теглилки); група ОРФЕ (възли: диск, окачващо устройство на блюдото, окачващо устройство на проти-вотежестта и балансиращ възел); група МЕ (отделен възел); Възел лагерни опори; група стойка (възли: основни елементи и

носеща опора - шкаф); Възел еластична връзка за окачване на блудото; група противотежест (възли: противотежест и окачващо устройство); Възел еластична връзка за окачване на противотежестта; група двураменен лост за атестация (възли: образцов РФЕ и захващащ възел); група ОСФЕ за атестация (възли: блудо, окачващо устройство и образцови теглилки).

При извършване на проверки и атестации, основните параметри на почти всички посочени възли остават непроменени, съобразно реализираните допускови отклонения.

На практика, освен триещите моменти в лагерните опори, единствено възел еластична връзка за окачване на блудото и възел ЕРФЕ-1 (двураменен лост), могат да окажат допълнително влияние върху точността на формираните въртящи моменти $M_{\text{ВТОж}}^{(1)}$, $M_{\text{ВТОж}}^{(2)}$ в зависимост от стойностите на $M_{\text{Ож}}^{(1)}$ и $M_{\text{Ож}}^{(2)}$.

Това влияние е свързано с:

- промяна в диаметъра d_4 на еластичната връзка (стоманено въже) под действие на $M_{\text{Ож}}^{(2)}$ и неговото влияние върху стойността на $r_{\text{Ож}}$ (фиг.4-5), където:

$$r_{\text{Ож}} = r_{\text{Ож}}(r_{\text{д}}, d_{4\text{д}}), \text{ а } d_{4\text{д}} = d_{4\text{д}}(d_4, K_{\text{д2}})$$

където: $d_{4\text{д}}$ - действителен диаметър на въженцето; $K_{\text{д2}}$ - деформационен параметър на въженцето и неговия материал при опън, определящ намаляването на d_4 под действие на $M_{\text{Ож}}^{(2)}$;

- промяна в дължината $l_{\text{Ож}}^{(1)}$ на натовареното рамо на лоста, вследствие огъване под действие на $M_{\text{Ож}}^{(1)}$.

На практика, моментът на триене в лагерните опори е основен фактор, определящ в значителна степен чувствителността, точността и цялостните метрологични и експлоатационни параметри на уредбата. Той и всички гранични функционални отклонения на отделните възли следва да бъдат такива, че тяхното сумарно влияние върху формираните $M_{\text{ВТОж}}^{(1)}$ и $M_{\text{ВТОж}}^{(2)}$ да не надви-

шава по стойност чувствителността на уредбата при кое да е натоварено състояние.

В тази връзка, се извършва многократно сравняване на $M_{\text{втој}}^{(1)}$ и $M_{\text{втој}}^{(2)}$ (при гарантирана висока точност на ОРФЕ-1 и $M_{\text{втој}}^{(1)}$) и дообработка на основните възли на ОРФЕ-2 за постигане на необходимия клас на точност на уредбата -1 и относителна грешка 1 %. Такъв подход е оправдан, поради уникалността на измервателното устройство. Аналогичен ще бъде подхода и при създаване на Националния еталон за въртящ момент от сила.

При серийно производство се регламентират граничните отклонения и функционалните зависимости на възлите или се прилага методът за допълнителна корекция и компенсация за гарантиране точността преди всичко на R_D и $l_{\text{ој}}^{(1)}$.

Разгледаните предавателни отношения на II ниво изчерпват всички основни функционални зависимости, които определят параметрите на формираните еталонни въртящи моменти. Функционалните зависимости на отделните групи, обособени в [69, 70, 73] характеризират техните експлоатационни параметри. Част от тях, обаче, оказват косвено влияние върху метрологичните характеристики на ЕК. Например, функционалните зависимости, описващи алгоритъма на изменение на $M_{\text{втррез}}$; преходните процеси при смяна на теглилките и т.н.

Това е допълнително предимство за разглежданите схемно и конструктивно решение, които на практика се явяват унифицирани, както за уредбата, така и за ЕК.

Действието на всяка отделна група е описано в идейния проект на Националния еталон за въртящ момент от сила [73].

4.1.4. Основни функционални механизми (четвърто ниво)

Поради относителната простота на схемното и конструктивно решение, това ниво на декомпозиране се явява последно за образцовата уредба.

Възлите на устройството се подразделят на отделни детайли, функционалните зависимости на които характеризират техните основни технологични и експлоатационни възможности. Те оказват известно влияние върху метрологичните характеристики на СИ преди всичко чрез: граничните допускови отклонения на дължина и маса; якостни параметри и др.

За Националния еталон, декомпозирането включва подразделяне на функционалните групи на механизми с различни функционални назначения, които определят техните експлоатационни възможности.

На това ниво се анализират изходните параметри на редуктори, направляващи механизми, двигатели, фиксатори, електронни функционални блокове и др. [69, 70]. Едновременно с това се разработват идейния проект, граничните якостни и експлоатационни изисквания към отделните механизми, вида на връзките между тях, реда на взаимодействие, взаимното разположение и т.н., в зависимост от тяхното влияние върху метрологичните параметри на групите.

4.1.5. Основни функционални възли (пето ниво)

На това ниво се анализират функционалните възли на еталона, обособени в съответните структурни единици "механизми", по експлоатационно предназначение.

И тук, влиянието върху метрологичните параметри на ЕК е свързано главно с допускови и гранични якостни отклонения, взаимни връзки и разположения, ред на взаимодействие и др. в самия механизъм или извън него, които се определят съгласно [73].

4.1.6. Основни детайли на функционалните възли (шесто ниво)

Това ниво на декомпозиране се явява последно за ЕК, при което се анализират някои основни детайли на възлите, съобразно [69, 70, 73], тяхното експлоатационно предназначение, като се прилагат подходи, аналогични на използваните от пето ниво.

4.2. Конструктивна реализация

Извършва се съобразно резултатите от проведения анализ на предварителните блокови схеми, физични модели и кинематични схеми на устройствата.

Приетото схемно решение на уредбата за проверка на ДК има следните основни предимства:

1. Реализира се образцов статичен въртящ момент с висока точност без усложняване на проверочната схема.
2. Спазва се принципа на Абе при предаване на единицата.
3. Осигурява се висока точностна надеждност на прилагания метод и използваните приспособления.
4. Проверките се извършват при условия, максимално близки до реалните.
5. Сведени са до минимум изчислителните операции при извършване на проверки на ДК.
6. Реализират се модулни високоточни СИ на въртящ момент от сила с различни експлоатационни и метрологични възможности, чрез прилагане принципи на унификация.

Конструктивното изпълнение на уредбата се характеризира със следните основни особености [97, 98] : теглилките се поставят върху блюдото ръчно; ОРФЕ-2 (диск) е изпълнен с два размера $R_{д1}$ и $R_{д2}$ за формиране на единицата в две размерности

- в кГс.м. и Н.м.; блюдото и противотежестта са поставени в специален шкаф за намаляване въздействието на външни влияещи фактори.

За проверка на динамометричен ключ, съгласно фиг.4-5 е необходимо неговият работен квадрат да бъде фиксиран съсно към вала на диска посредством специален захват. Самият процес на проверка може да се извърши по два начина:

- с фиксирано рамо на ДК към стойка чрез подвижен упор (фиг.4-15) и поставяне или отнемане на теглилки върху блюдото (фиг.4-17);

- с нефиксирано към стойка рамо чрез ръчно прилагане на сила към ръкохватката на Д.К. с предварително поставяне или отнемане на теглилки върху блюдото (фиг.4-17).

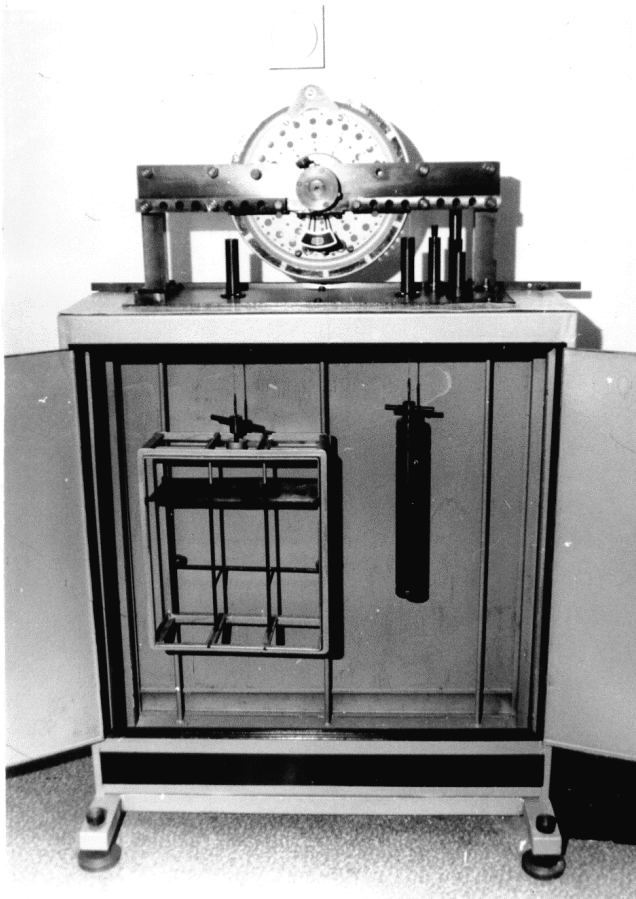
За формиране на въртящи моменти с различни посоки на въртене, местата на блюдото и противотежестта се сменят.

От фиг.4-15, 4-16 и 4-17 се вижда, че чрез едновременно прилагане на двата начина за проверка на Д.К. могат да се проверяват въртящи моменти, формирани от Д.К. с различни посоки на въртене при една установка на блюдото и противотежестта.

На фиг.4-12 ÷ 4-14 е показана уредбата и отделни нейни елементи в изходно положение.

Така реализирана, уредбата не изисква внедряването на специални методи и средства за гарантиране на нейната точност и надеждност при удовлетворяване изискванията за клас на точност - 1 и относителна грешка - 1 %.

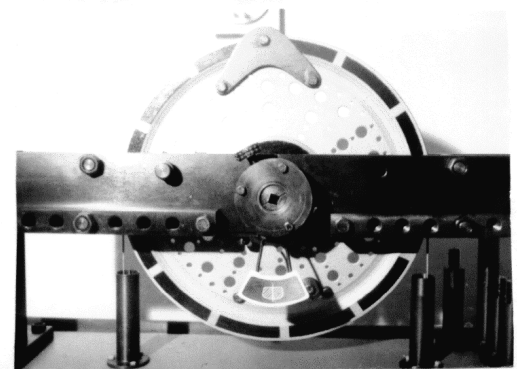
Приетото схемно решение на еталонния комплекс по същество се явява развитие на схемата на уредбата. Доказала своята целесъобразност, схемата за нейната атестация е приета като основна за ЕК.



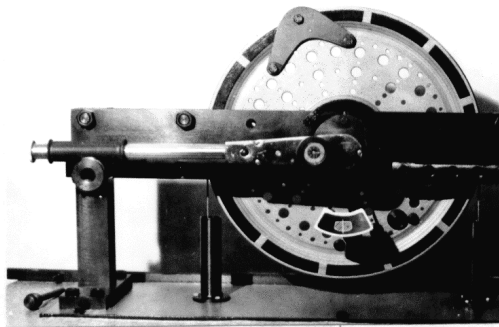
Фиг.4-12. Общ вид на УЦДК в изходно положение.



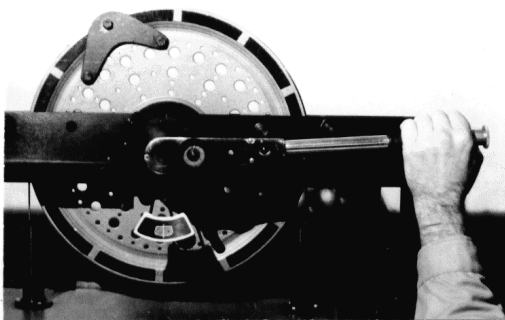
Фиг.4-13. Общ вид на УЦДК.



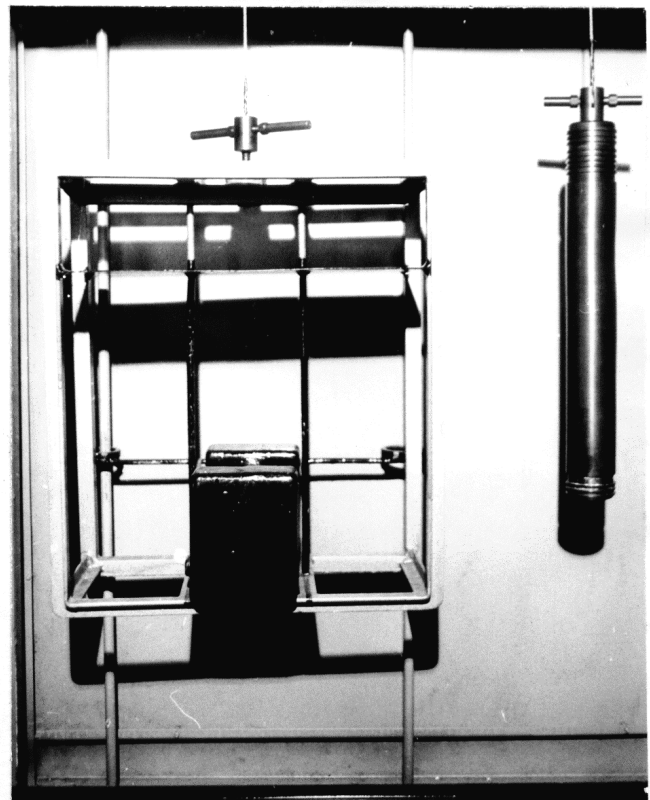
Фиг.4-14. РФЕ на УЦДК (диск и захват на ДК).



Фиг.4-15. Проверка на ДК, фиксиран върху неподвижен упор.



Фиг.4-16. Проверка на ДК, нефиксиран върху неподвижен упор.



Фиг.4-17. Разположение и окачване на блюдото при проверки на ДК, съгласно фиг.4-15 и 4-16.

На фиг.4-18 и 4-19 е показан идейния проект за конструктивно изпълнение на ЕК, приет за разработване. Той е изграден в съответствие с вече анализираната кинематична схема на фиг.4-10, като са осигурени възможности за изпълнение на всички основни функции на съоръжението.

Предложеният вариант осигурява: минимален брой механични елементи; компактност на конструкцията; експлоатационна и точностна надеждност; разширени метрологични и експлоатационни възможности и т.н.

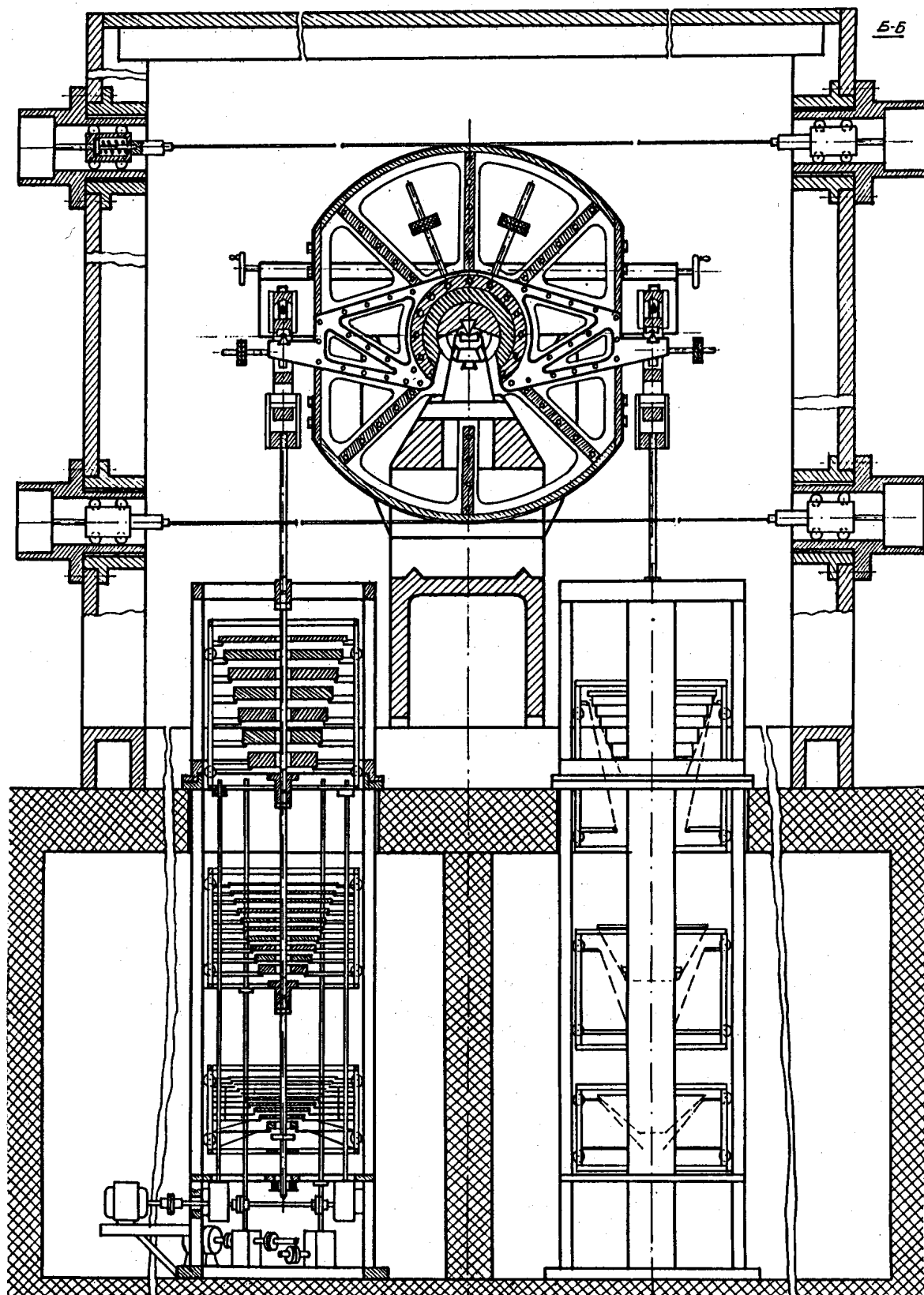
Поради специфичността на схемното решение на ЕК и възприетия метод за формиране и предаване на първичен еталонен въртящ момент от сила, изискванията към СФЕ_{пе} са особено завишени:

- изменение на стойностите на прилаганите към рамената сили с дискретност не по-голяма от 10 Н.м за целия измервателен обхват (5000 Н.м);
- еднопосочност в изменението на стойностите на силите за целия измервателен обхват;
- минимален и практически реализируем брой използвани във всяко силонатоварващо устройство теглилки.

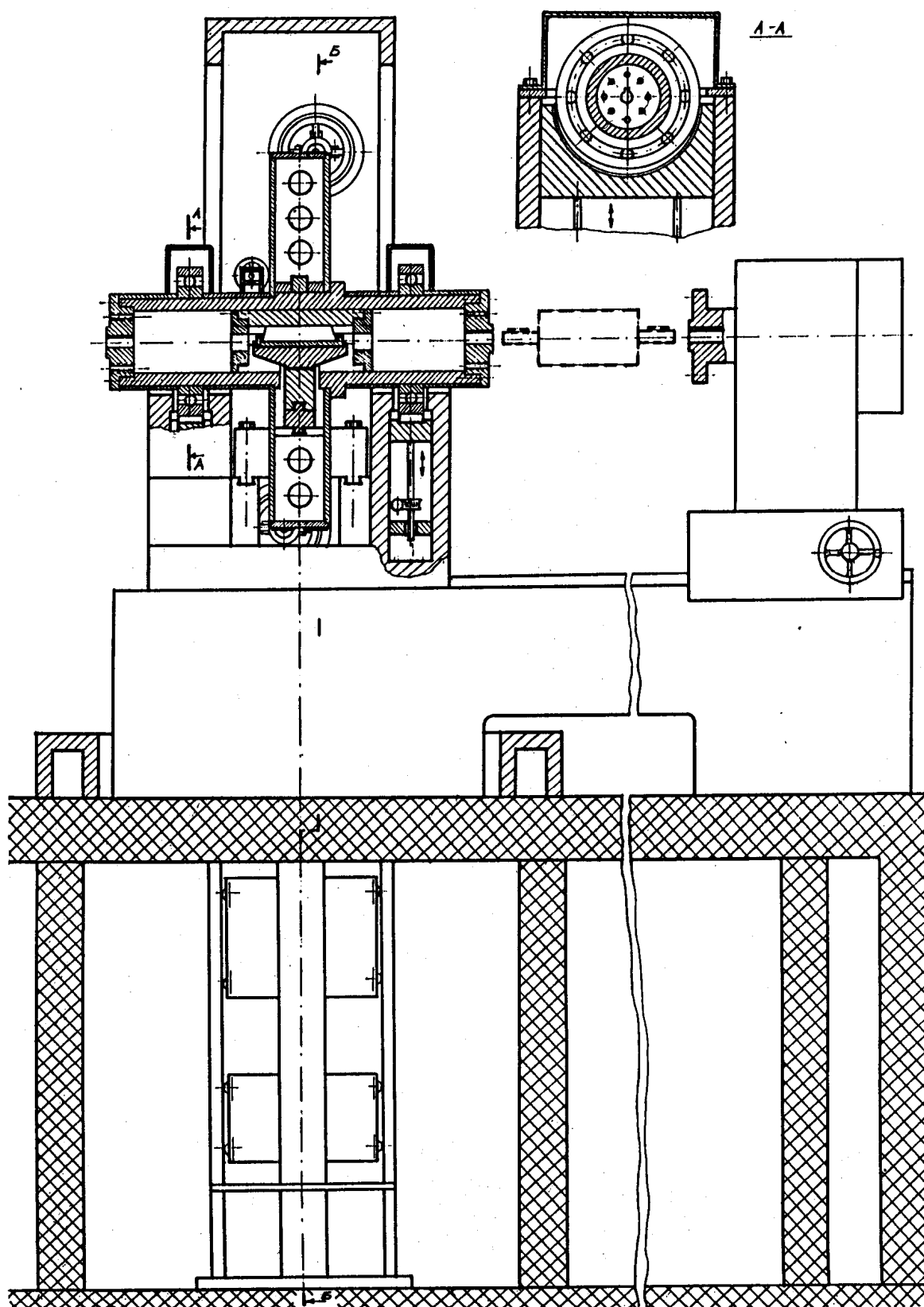
Тези изисквания, съгласно предварителния анализ, се удовлетворяват чрез вариант на метода на заместване наречен "Метод за формиране на въртящ момент от сили".

В тази връзка, са разработени 3 варианта ЕСФЕ-1 с различни експлоатационни и метрологични характеристики, разгледани и анализирани в [73].

За всеки вариант са предвидени различен брой теглилки с различна маса. Извършен е анализ на метрологичните и експлоатационни възможности чрез графоаналитичен метод, като е разработен табличен алгоритъм на натоварванията на всяко от ра-



Фиг.4-18. Идеен проект на еталонен комплекс с КЕРФЕ (поглед отпред).



Фиг.4-19. Идеен проект на еталонен комплекс с КЕРФЕ (поглед от страни).

мената на ЕРФЕ-1.

Приетият за разработка вариант включва общо 28 броя теглилки, разделени в три самостоятелни групи с еднаква маса, както следва: 10 броя по 5 Н; 10 броя по 55 Н и 8 броя по 605 Н. Така, при окачване на всички теглилки върху едно от рамената на ЕРФЕ-1 се формира максимален въртящ момент, равен на 5440 Н.м.

В табл.4.1. е представен част от алгоритъма на натоварванията на всяко едно рамо на ЕРФЕ-1 при формиране на въртящ момент от сила, като на фиг.4-20, този процес е представен в графичен вид. На фиг.4-21 е показана графика на изменение на формирания въртящ момент от сила в зависимост от приложените към ЕРФЕ-1 сили, като към нея в легенда са отбелязани означените върху графиката пикови натоварвания на системата в отделни моменти и тяхното сумарно действие върху централната и странични призмени опори. Предложеният вариант осигурява минимални стойности на тези натоварвания, което в значителна степен предопредели неговото приемане.

Изискванията към ЕСФЕ-2 също са високи, като основните от тях са свързани с осигуряването на плавност при формиране на силите и точност за целия измервателен диапазон (30000 Н.м), което преди всичко се определя от точността на използваните силови динамометри и конструктивното решение на ЕСФЕ-2 като цяло. Предвижда се изграждането на механични силоформиращи устройства и използването на динамометри с електронен отчет.

Перспективност на конструктивното решение на ЕК

Прието е да се счита, че едно уникално механично съоръжение следва да е сравнително дълговечно и не подлежи на съществено развитие, особено когато се отнася до еталонно СИ.

Формиране на първичен еталонен въртящ момент от сила
чрез ЕРФЕ-1 и ЕСФЕ-1.

Табл.4.1.

М върт х 10Нм	ОСН.РАМО х 10 Н	ПРОТ.РАМО х 10 Н	М върт. х 10Нм	ОСН.РАМО х 10 Н	ПРОТ.РАМО х 10 Н	М върт. х 10Нм	ОСН.РАМО х 10 Н	ПРОТ.РАМО х 10 Н
0,5	5,5	5Н(5,0)	13,0	3x5,5	3,5	25,5	5 x 5,5	2,0
1,0	5,5	4,5	13,5	3 x 5,5	3,0	26,0	5 x 5,5	1,5
1,5	5,5	4,0	14,0	3 x 5,5	2,5	26,5	5 x 5,5	1,0
2,0	5,5	3,5	14,5	3 x 5,5	2,0	27,0	5 x 5,5	0,5
2,5	5,5	3,0	15,0	3 x 5,5	1,5	27,5	5 x 5,5	0
3,0	5,5	2,5	15,5	3 x 5,5	1,0	28,0	5 x 5,5 + 0,5	0
3,5	5,5	2,0	16,0	3 x 5,5	0,5	28,5	5 x 5,5 + +1,0	0
4,0	5,5	1,5	16,5	3 x 5,5	0	29,0	5 x 5,5 + +1,5	0
4,5	5,5	1,0	17,0	3 x 5,5 + +0,5	0	29,5	5 x 5,5 + +2,0	0
5,0	5,5	0,5	17,5	3 x 5,5 + +1,0	0	30,0	5 x 5,5 + +2,5	0
5,5	5,5	0	18,0	3 x 5,5 + +1,5	0	30,5	5 x 5,5 + +3,0	0
6,0	5,5+0,5	0	18,5	3 x 5,5 + +2,0	0	31,0	5 x 5,5 + +3,5	0
6,5	5,5+1,0	0	19,0	3 x 5,5 + +2,5	0	31,5	5 x 5,5 + +4,0	0
7,0	5,5+1,5	0	19,5	3 x 5,5 + +3,0	0	32,0	5 x 5,5 + +4,5	0
7,5	5,5+2,0	0	20,0	3 x 5,5 +3,5	0	32,5	5 x 5,5 + +5Н(5,0)	0
8,0	5,5+2,5	0	20,5	3 x 5,5	0	33,0	5,5+5,5+5x x5,5+5Н(5,0)	5,5+5Н(5,0)
8,5	5,5+3,0	0	21,0	3 x 5,5 + +4,5	0	33,5	7 x 5,5	5Н (5,0)
9,0	5,5+3,5	0	21,5	3 x 5,5 + +5Н (5,0)	0	34,0	7 x 5,5	4,5
9,5	5,5+4,0	0	22,0	5,5+5,5+3x x5,5+5Н (5,0)	5,5+5Н (5,0)	34,5	7 x 5,5	4,0
10,0	5,5+4,5	0	22,5	5 x 5,5	5Н	35,0	7 x 5,5	3,5
10,5	5,5+5Н	0	23,0	5 x 5,5	4,5	35,5	7 x 5,5	3,0
11,0	5,5+5,5+5,5 +5Н (5,0)	5,5+5Н (5,0)	23,5	5 x 5,5	4,0	36,0	7 x 5,5	2,5
11,5	5,5+5,5+5,5	5Н(5,0)	24,0	5 x 5,5	3,5	36,5	7 x 5,5	2,0
12,0	3 x 5,5	4,5	24,5	5 x 5,5	3,0	37,0	7 x 5,5	1,5
12,5	3 x 5,5	4,0	25,0	5 x 5,5	2,5	37,5	7 x 5,5	1,0

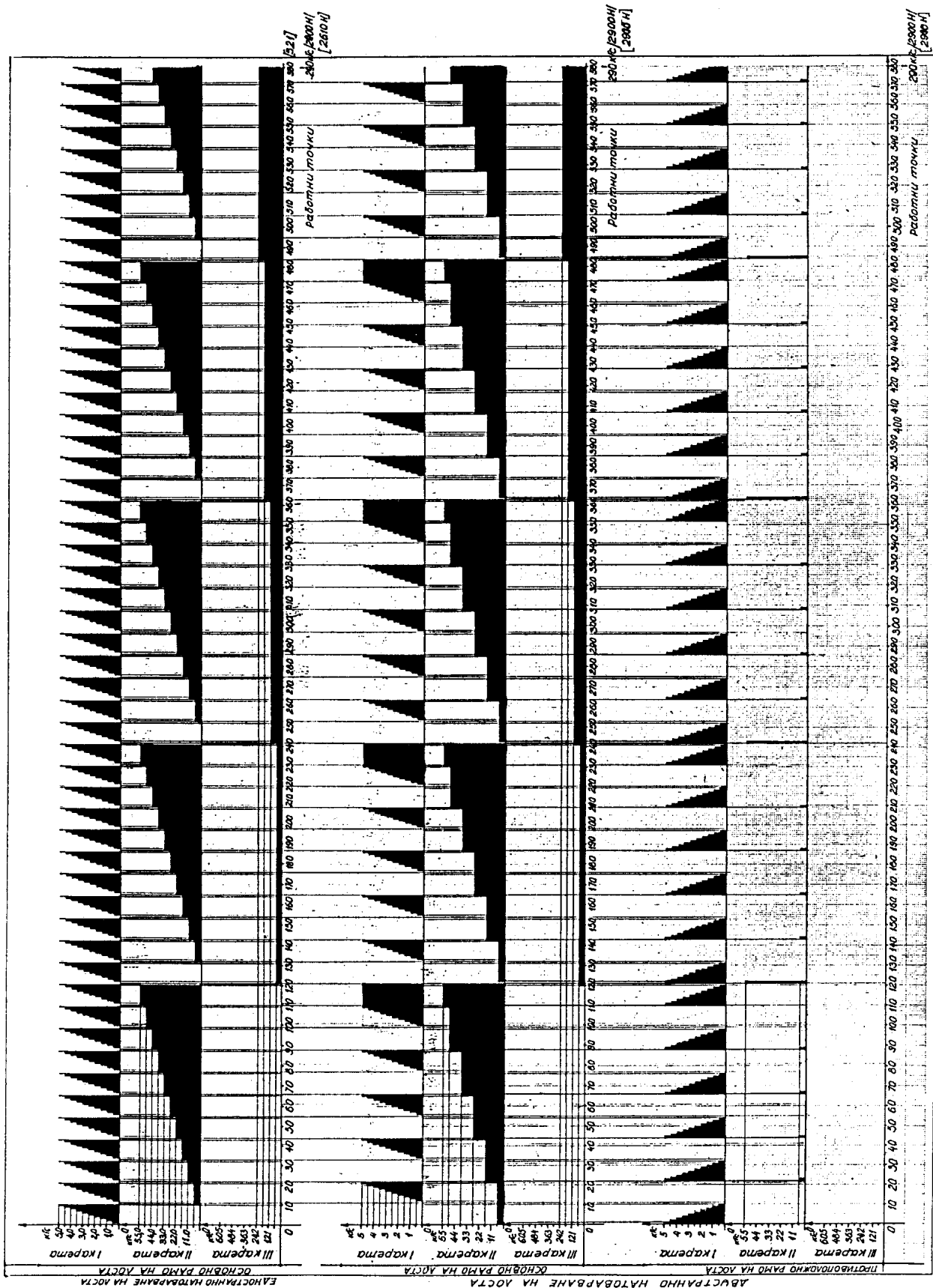
Основно предимство на така предложеното конструктивно решение е в това, че в него са заложени значителни резерви за бъдещото развитие, в зависимост от конкретните нужди в момента, в частност увеличаване горната граница на измервателния диапазон; увеличаване чувствителността чрез усъвършенстване на лагерните опори (например, реализиране на пневматични лагерни опори); повишаване точността; подобряване условията на работа в процеса на извършваните проверки и т.н.

Самото конструктивно решение на еталона може да бъде използвано в перспектива за създаване на високоточни СИ с различни метрологични и експлоатационни параметри. Възможно е да бъдат създадени унифицирани модулни или базови конструкции и реализиране на тяхна основа гама устройства за измерване на въртящ момент от сила за конкретни производствени и технологични нужди.

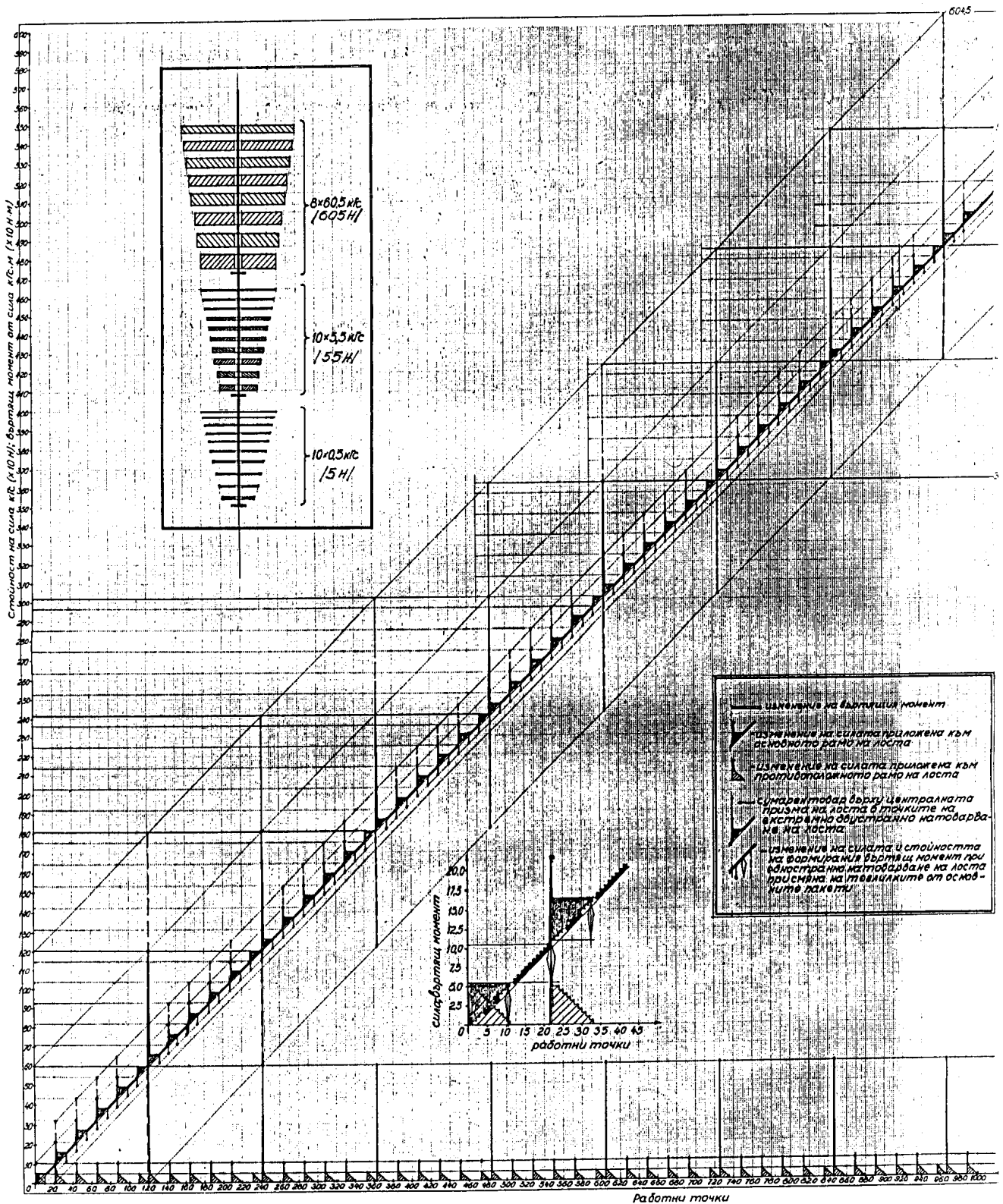
4.3. Метрологично осигуряване и експериментални изследвания

Нормативното метрологично осигуряване на уредбата за проверка на ДК включва методи и методики за експериментални и метрологични изпитвания, проверки и атестации на допълнителните приспособления и устройството като цяло [97, 98]. Те следва да осигуряват проверката на всички основни параметри на устройството, съобразно предварителния анализ и изискванията за удовлетворяване на съответния клас на точност.

За целта, преди всичко се осигуряват изискванията при формиране на основните физични величини "сила" и "рамо" (дължина) и методите за тяхното пренасяне върху съответните елементи на устройството. След това се регламентират условията за тяхното взаимодействие и предаване на формирания



Фиг.4-20. Циклограма за натоварване рамената на ЕРФЕ-1 (двухраменен лост) при формиране на първичен еталонен въртящ момент от сила, чрез едновременното действие на двата ЕСФЕ-1.



Фиг.4-21. Характеристика на формирания първичен еталонен въртящ момент от сила; стойности на силите, приложени към всяко рамо; сумарни натоварвания на централната призма при двустранно натоварване. Характер на изменение на силата и стойността на формирания въртящ момент при смяна на теглилките в случай на едностранно натоварване на двурамения лост (ЕРФЕ-1).

въртящ момент от сила към ПУ (ДК), неговото отчитане и сравняване с показанията на ПУ.

Двураменният лост (ОРФЕ-1) се закрепва към захвата на диска на УЦДК (ОРФЕ-2) чрез монтиран към него квадрат (фиг. 4-22 ÷ 4-24). Начинът за извършване на проверката съгласно фиг. 4-6 е показан на фиг. 4-22.

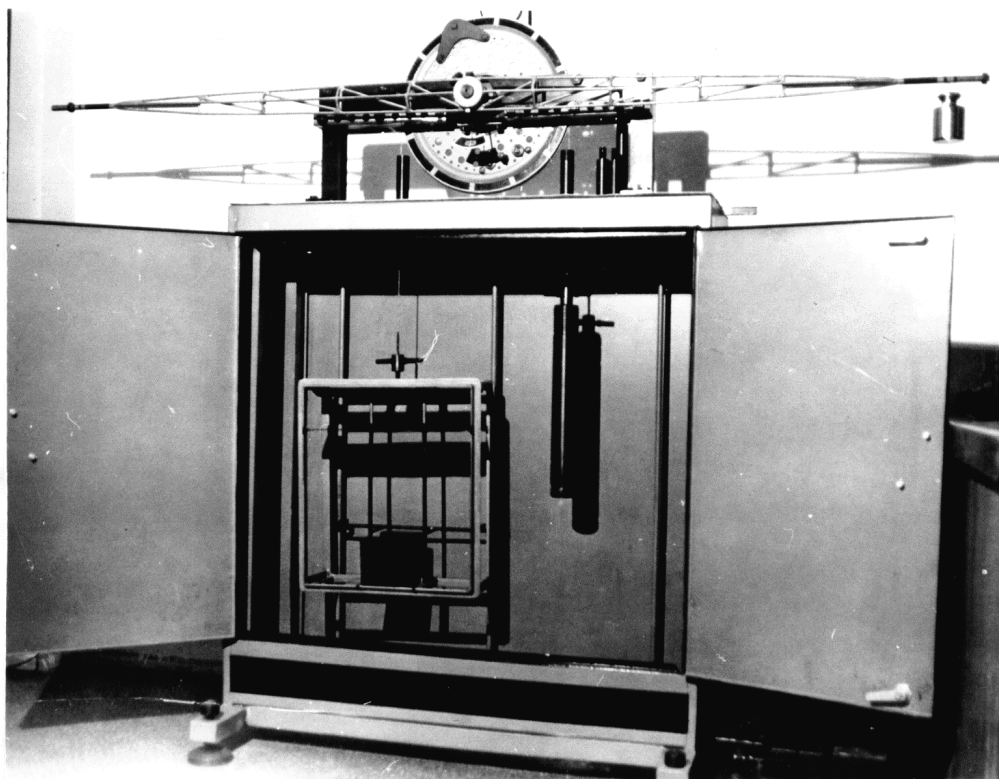
На фиг. 4-23 ÷ 4-25 е показана проверката на дължините на рамената чрез специален шаблон, атестиран съгласно [98] с грешка $\pm 0,1$ мм.

На фиг. 4-26 е показана скала, закрепена неподвижно към стойка и стрелка, монтирана към лоста за определяне на неговото хоризонтално положение след хоризонтиране на уредбата.

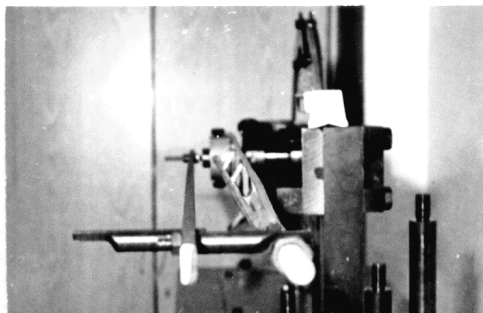
Основните въпроси, свързани с нормативното метрологично осигуряване на Националния еталон за въртящ момент от сила са подобни на тези, които се решават за уредбата за проверка на динамометрични ключове, поради приемствеността на избраното схемно решение. Те са разгледани обстойно и анализирани в [69].

Разработени са всички операции, свързани с взаимодействието между отделните елементи на еталона, необходими за пълното реализиране на основните метрологични и експлоатационни параметри на устройството, съгласно проведения анализ на второ ниво. Анализирани са операциите, свързани с привеждане на ЕК в изходно работно положение по време и след завършване на проверките. За гарантиране дълговечността, точността, точностната надеждност и безопасността на съоръжението са разработени и анализирани операциите, свързани с ограничаване на последиците от предварително моделирани аварийни ситуации и извеждане съоръжението от тях с минимални повреди.

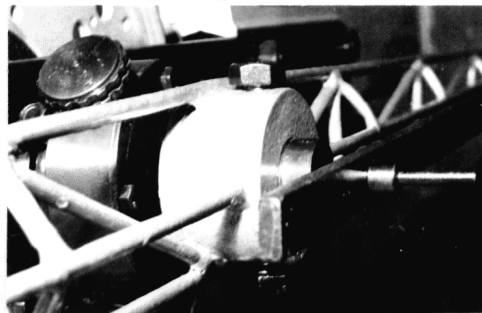
По сравнение с уредбата за проверка на ДК, методите и средствата за гарантиране достоверността на формирувания етало-



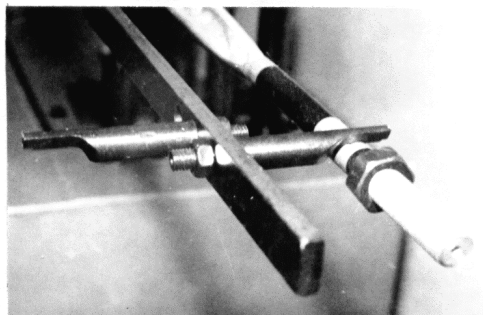
Фиг.4-22. Атестація и проверка на УЦДК.



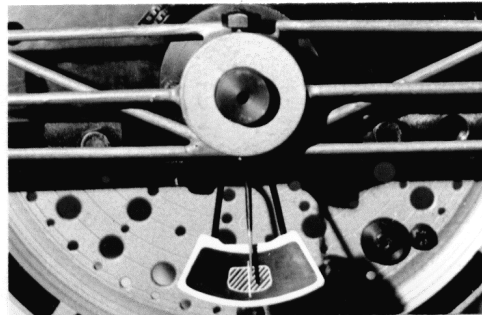
Фиг.4-23. Атестація и проверка на двураменния лост с шаблон.



Фиг.4-24. Центриращ щифт на шаблона вкаран в двураменния лост.



Фиг.4-25. Указателни призми на шаблона, поставени върху двураменния лост.



Фиг.4-26. Скала и указателна стрелка при хоризонтално положение на двураменния лост.

нен въртящ момент от сила са допълнително развити. Освен високите изисквания към граничните допускови отклонения на основни размери и стойности на сили, се предвижда въвеждането на **активен** контрол в процеса на измерване и отчитане на отклоненията при определяне действителните стойности на формираните въртящи моменти.

Прилагането на двоица сили към периферията на диска и самият процес на атестация на ВЕ посредством ПЕ е свързано с определени специфични особености (например, пряка зависимост на стойността на приложената сила от преместването на динамометъра или завъртането на диска). Това налага използването на метода за допълнителна корекция и компенсация за прецизно формиране на стойностите на прилаганите към диска сили. За целта, между силовия динамометър и диска е предвидено вграждането на допълнителен еластичен елемент, с помощта на който се реализира разгледаният в гл.2 метод.

Предвижда се атестирането на теглилките и силовите динамометри да се извършва с еднаква точност, при което грешката на формирания вторичен еталонен въртящ момент ще се определя единствено от точността на възпроизвежданото рамо и прилагането на силата към периферията на диска.

На този етап, разработените методи и методики за проверка и атестация се явяват основа за допълнително развитие на ЕК и създаване на предпоставки за реализиране на рационална, ефективна и икономична в технологично и експлоатационно отношение конструкция, а така също за гарантиране моралната и експлоатационна дълговечност за продължителен (от порядъка на 50-80 години) период от време.

4.4. Експериментални данни

Атестацията на уредбата за проверка на ДК се извършва по условията и методите, разработени в [98], при което се получават и експериментални резултати за доказване на метрологичните и експлоатационни параметри на устройството.

Процесът се подразделя на три основни етапа, както следва:

Първи етап – подготвителен. Включва: осигуряване на необходимите условия за формиране на основните физични единици – сила и рамо (дължина).

За целта, теглилките се атестират чрез прилагане на познати в метрологичната практика методи и средства, при което се гарантира необходимата точност на формираните сили.

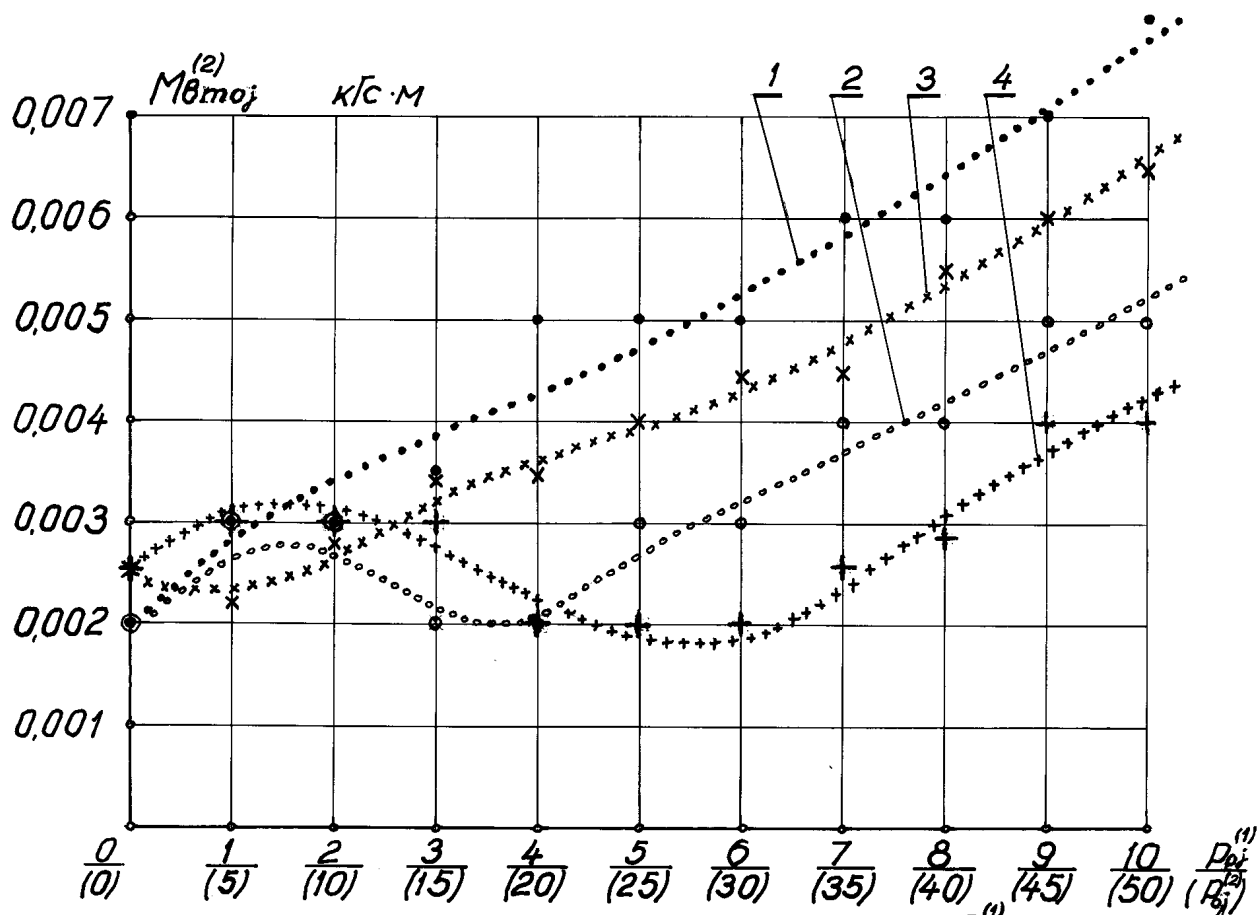
Дължината на рамото на двураменния лост за атестация на уредбата се определя чрез сравняване със специален шаблон. Той е атестиран с помощта на използвано в метрологичната практика универсално оборудване.

Дължината на радиуса на диска (P_1 и P_2) е определена в процеса на неговата изработка, като неговата точност се регламентира от съответното допусково отклонение на размера.

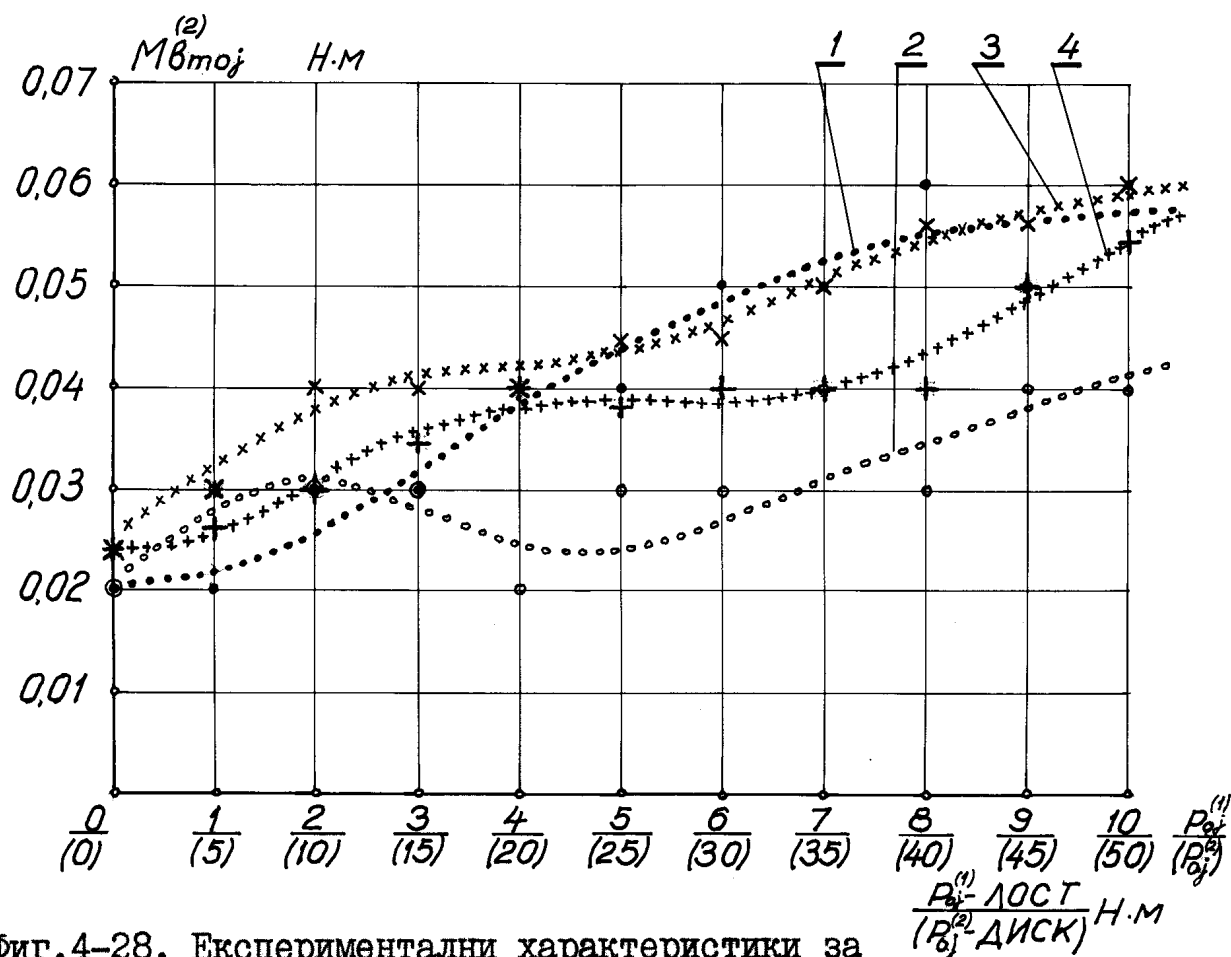
Осигурени са всички допълнителни изисквания, отразени в (97, 98), по привеждане на устройството в изходно работно положение и гарантиране необходимите условия за работа.

Втори етап – основен. Включва: атестиране на уредбата съгласно схемата изложена на фиг.4-6 и в (98 или Приложение № 2), при което се получават експериментални резултати, показани в Табл.4.2 + 4.10 и на фиг.4-27 + 4-30.

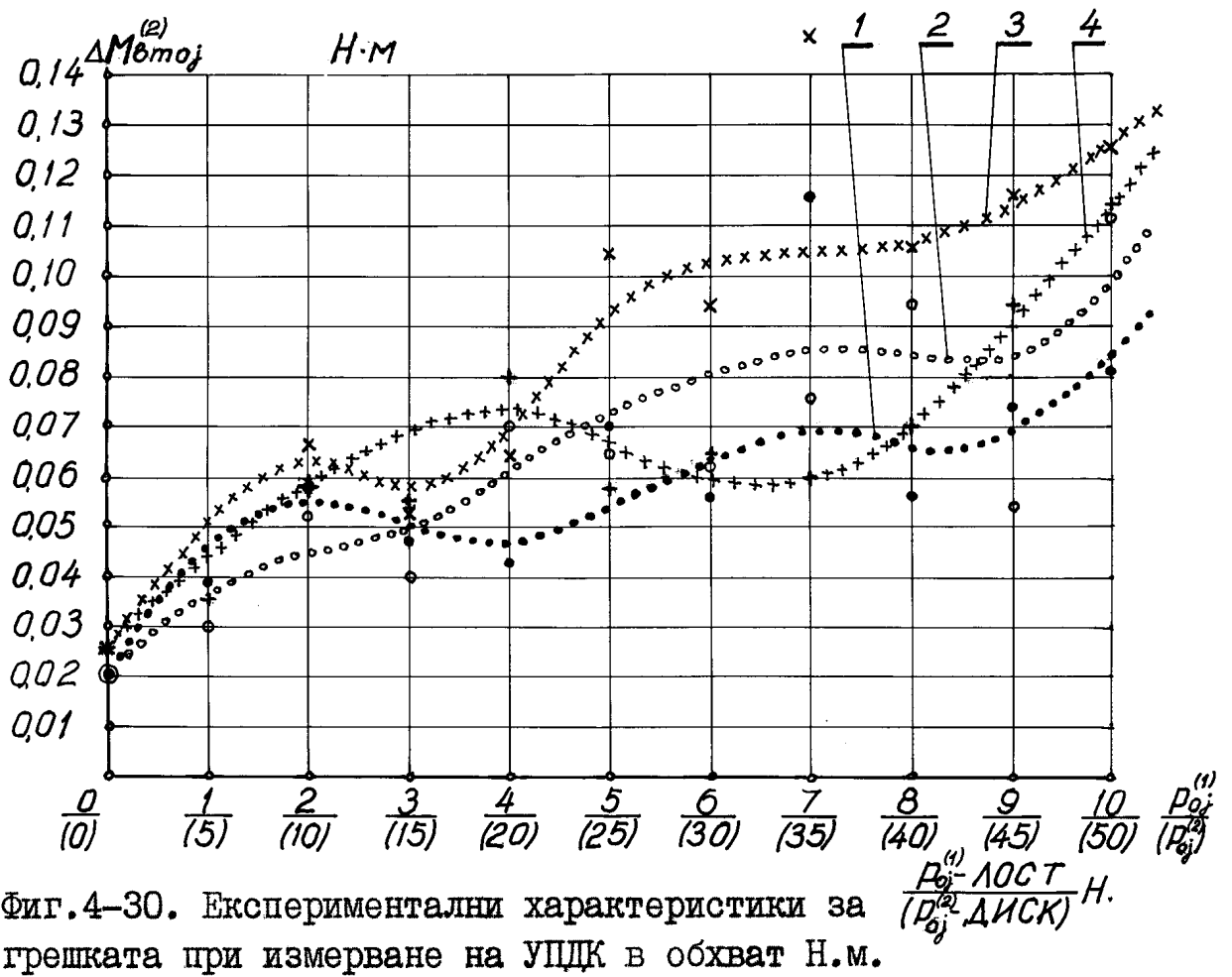
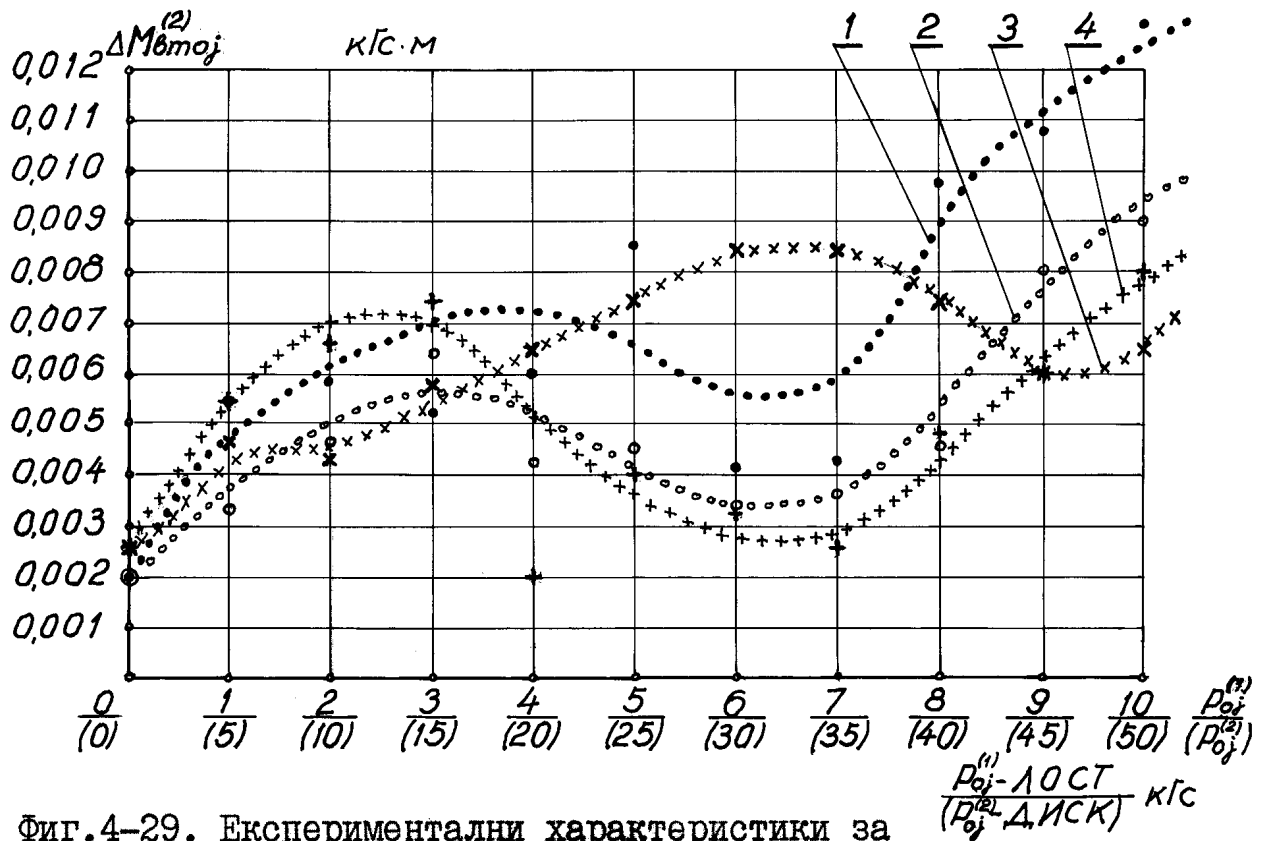
За целта се изследват метрологичните параметри на формираните от УПДК въртящи моменти с размерности в Н.м. и кГс.м., като получените резултати са представени в графичен вид както следва:



Фиг.4-27. Экспериментални характеристики за чувствителност на УЦДК в обхват кГс.м.



Фиг.4-28. Экспериментални характеристики за чувствителност на УЦДК в обхват Н.м.



- чувствителност - Табл.4.4, табл.4.6 и фиг.4-27 и 4-28;
- грешка на формирания образец въртящ момент - Табл.4.5 и 4.7 и фиг.4-29 и 4-30.

За всеки параметър при определена размерност се извършват четири вида изследвания: при формиране на въртящи моменти с условно лява (графики 1 и 3) или дясна (графики 2 и 4) посока на въртене при поставяне или отнемане на теглилки върху блюдото (графики 3 и 4) или върху двураменния лост (графики 1 и 2).

Отделните експериментални значения показани на графиката се явяват средноквардратични отклонения и са получени след статистическа обработка на всички резултати, свързани с конкретното значение на натоварващата сила. Нелинейността на характеристиките се определя от нелинейността на еластичните деформации на рамената на ОРФЕ-1 (двураменен лост) и гъвкавите връзки (стоманено въженце) на ОРФЕ-2 (диск), което води до нелинейно изменение на ефективните дължини на съответните рамена.

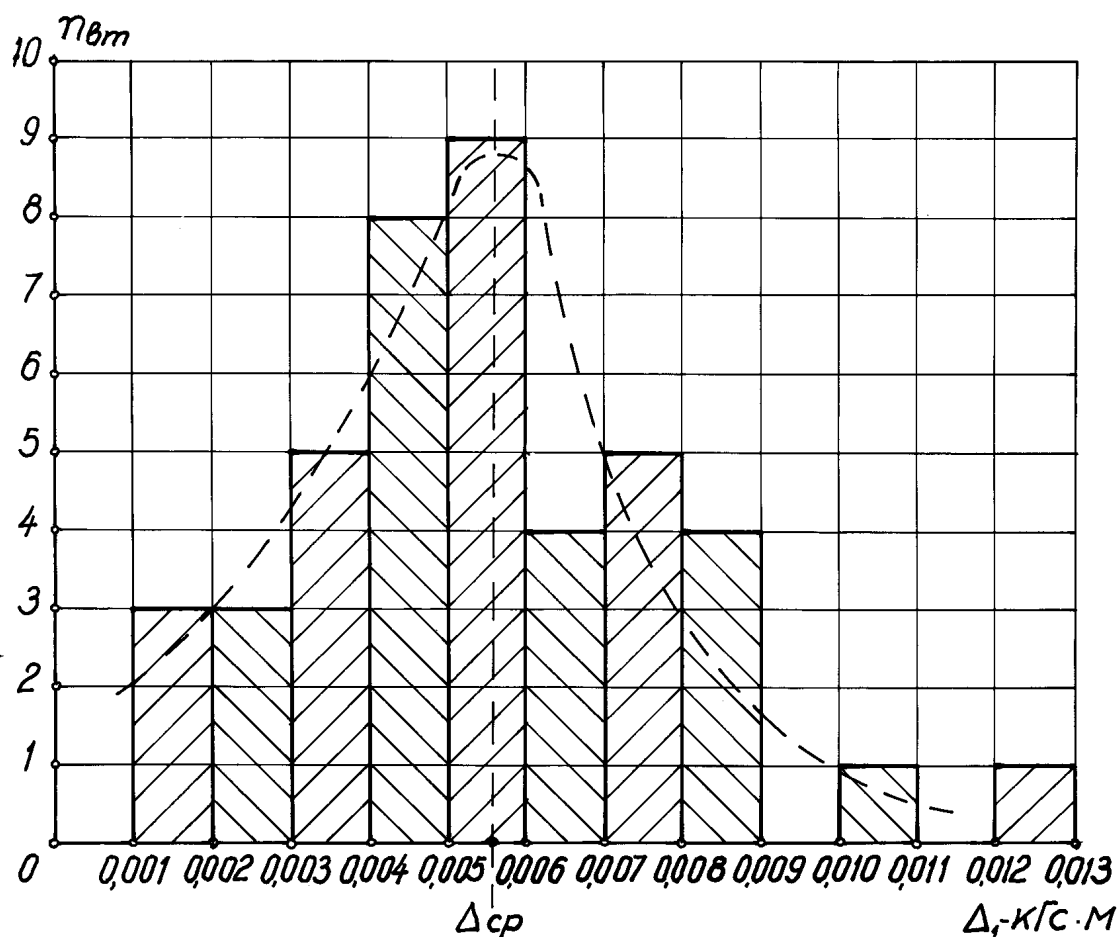
Трети етап - изчислителен. Включва: обработка на експерименталните резултати, представени в приложения, получаване на действителните стойности на грешките, определяне на относителната грешка и на класа на точност на уредбата.

На фиг.4-31 и фиг.4-32 са представени хистограмите на разпределение на граничните отклонения след обработка на експерименталните резултати в $\mu\text{Гс.м.}$ (за Δ_1) и Н.м. (за Δ_2).

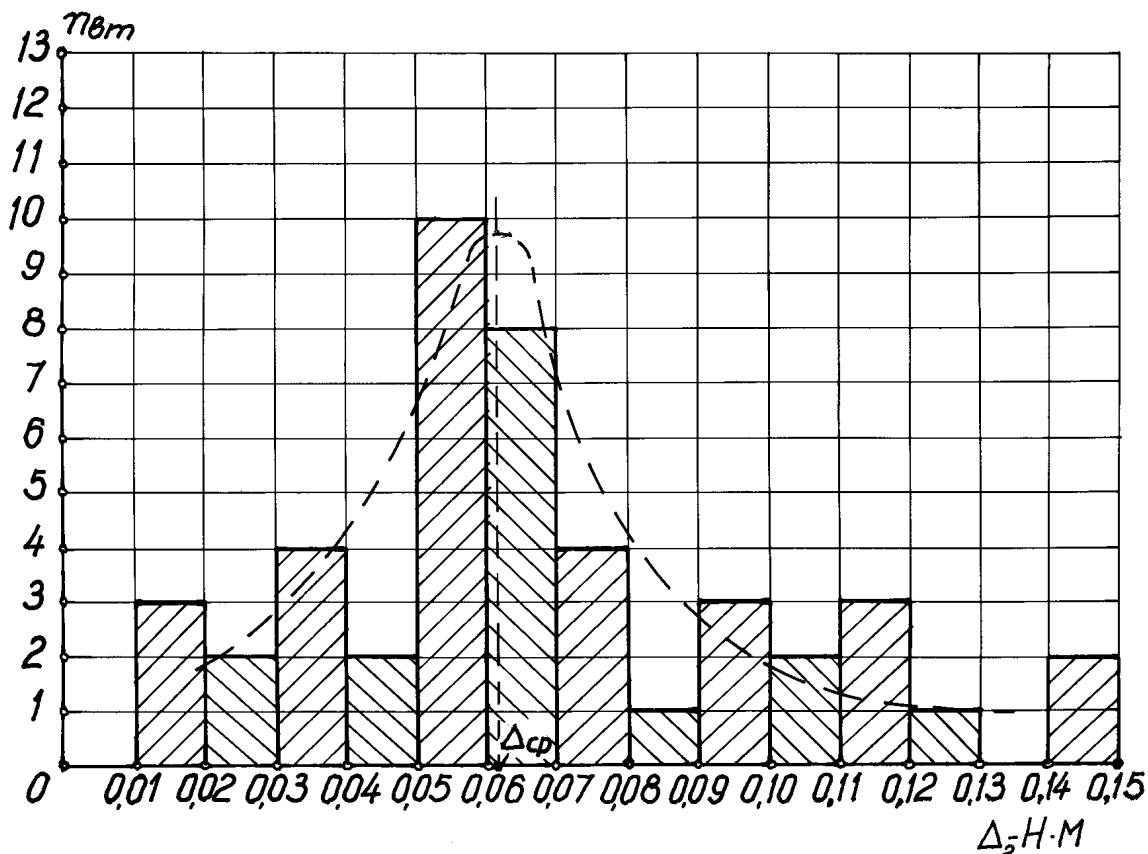
Съгласно получените резултати може да се счита, че най-вероятния закон за разпределение на отклоненията е нормалния.

Съгласно [98] относителната грешка на уредбата е определена на 1 %, при което нейния клас на точност е 1.

Така получените експериментални резултати служат като



Фиг.4-31. Гранични отклонения и разпределение на получените експериментални резултати за грешката на УДК в обхват кг·с·м.



Фиг.4-32. Гранични отклонения и разпределение на получените експериментални резултати за грешката на УДК в обхват Н·м.

основа за предварителна оценка на очакваните метрологични параметри на ЕК.

В този смисъл, извършените предварителни изчисления в [73] показват, че може да бъде очаквана реализацията на устройства със следните нива на точност:

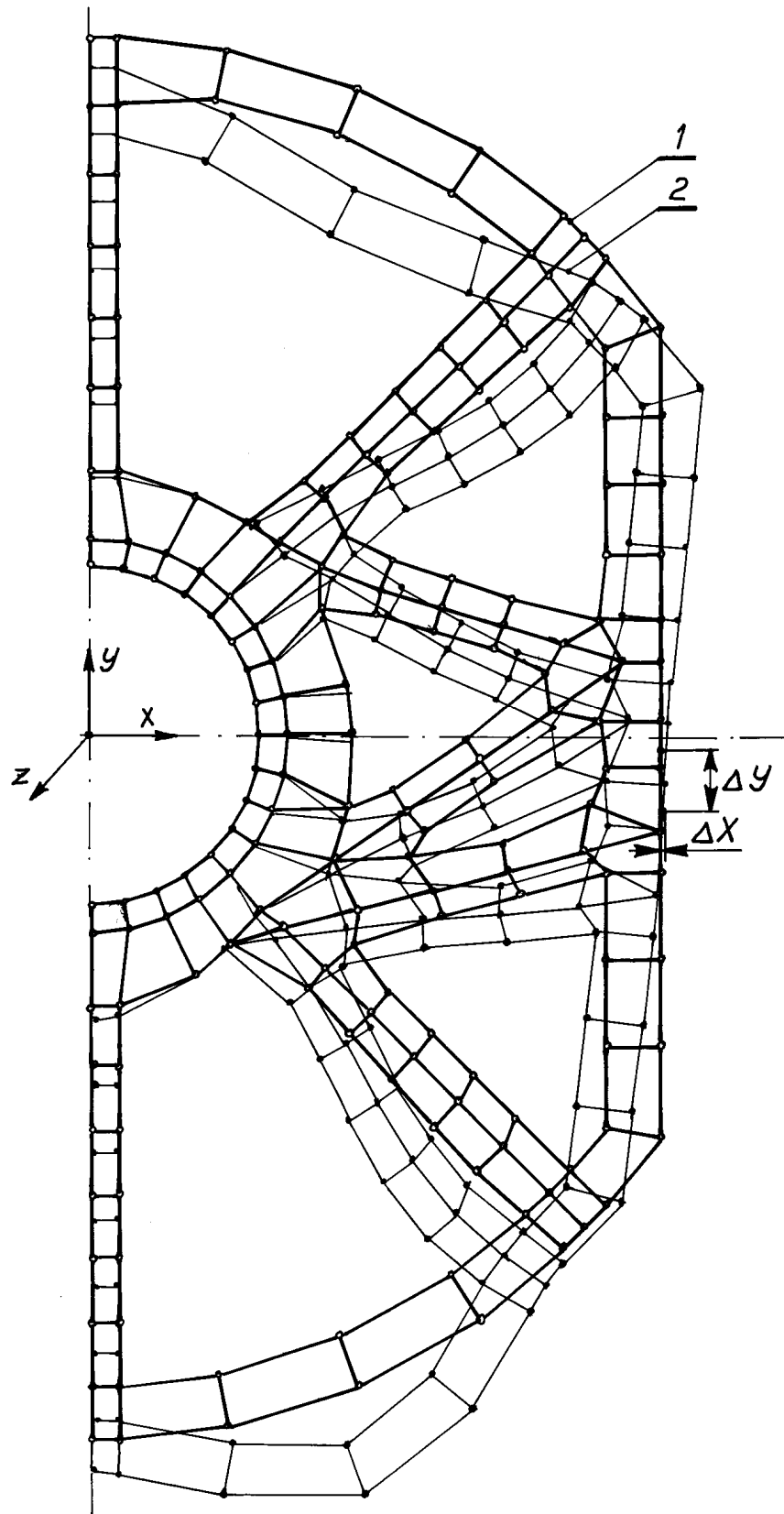
Вид централна лагерна опора	Вид на М Ф Е			
	Лост		Диск	
	отн. гр.	кл. на т.	отн. гр.	кл. на т.
призмена	0,05 %	0,05	0,1 - 0,2 %	0,1-0,2
търкалящи лагерни	1 %	1	1 %	1

Основание за това дават получените резултати от якостни пресмятания на комплексния ЕРФЕ, извършени на основата на идейния проект (фиг.4-18, фиг.4-19) чрез програма "VIMKE", разработена във ВТУ "Анг.Кънчев" - гр. Русе.

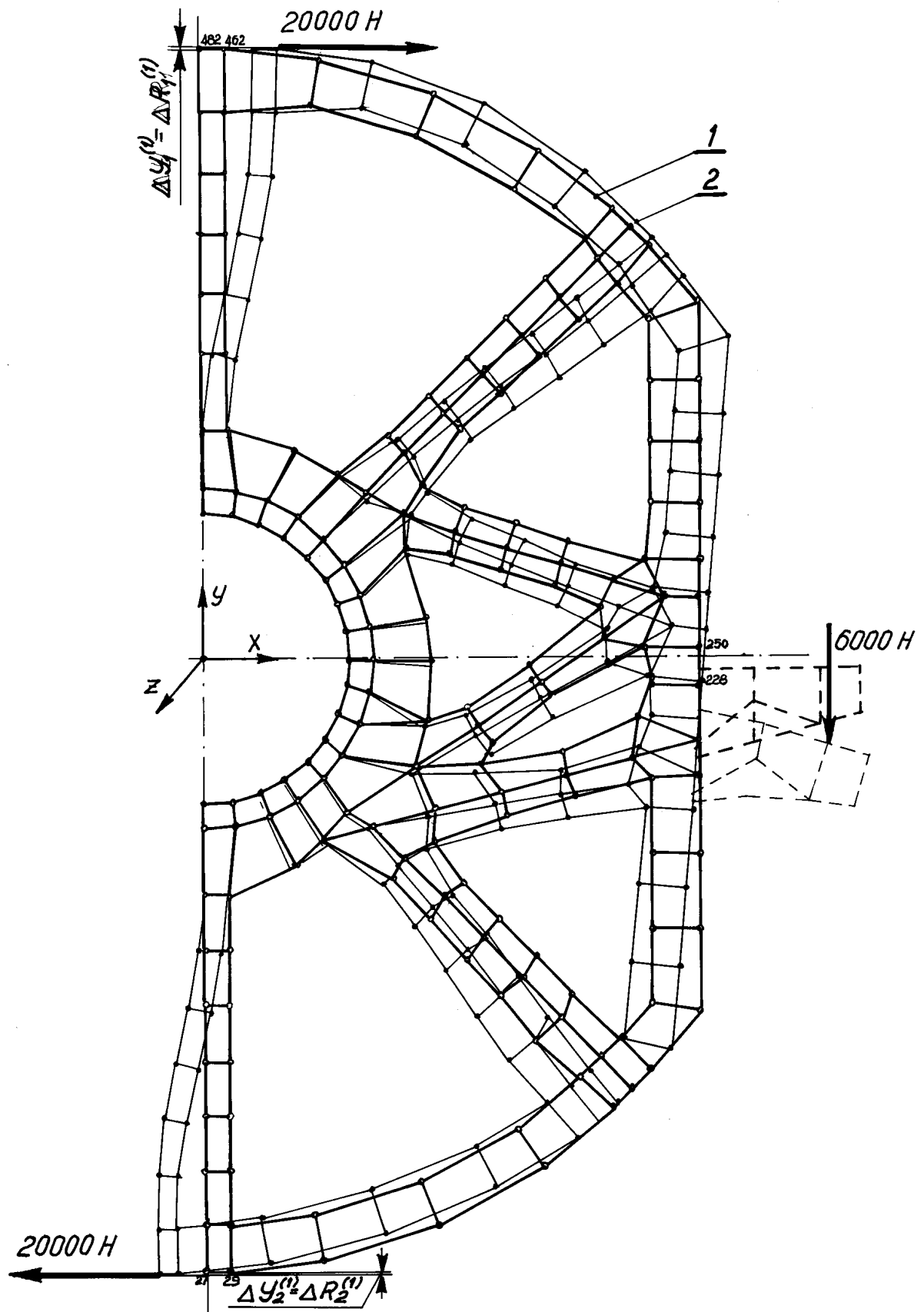
В аналитичен вид резултатите са показани в приложение, а в графичен (при силно завишени мащабни коефициенти на деформациите по действието на приложените към отделните елементи сили), както следва:

- На фиг.4-33 изходното и деформирано състояние на симетрична половина на диска под действие на собствено тегло. Максимално изменение на радиусите (изменение в размера по оста Y) - 0,0014 мм.;

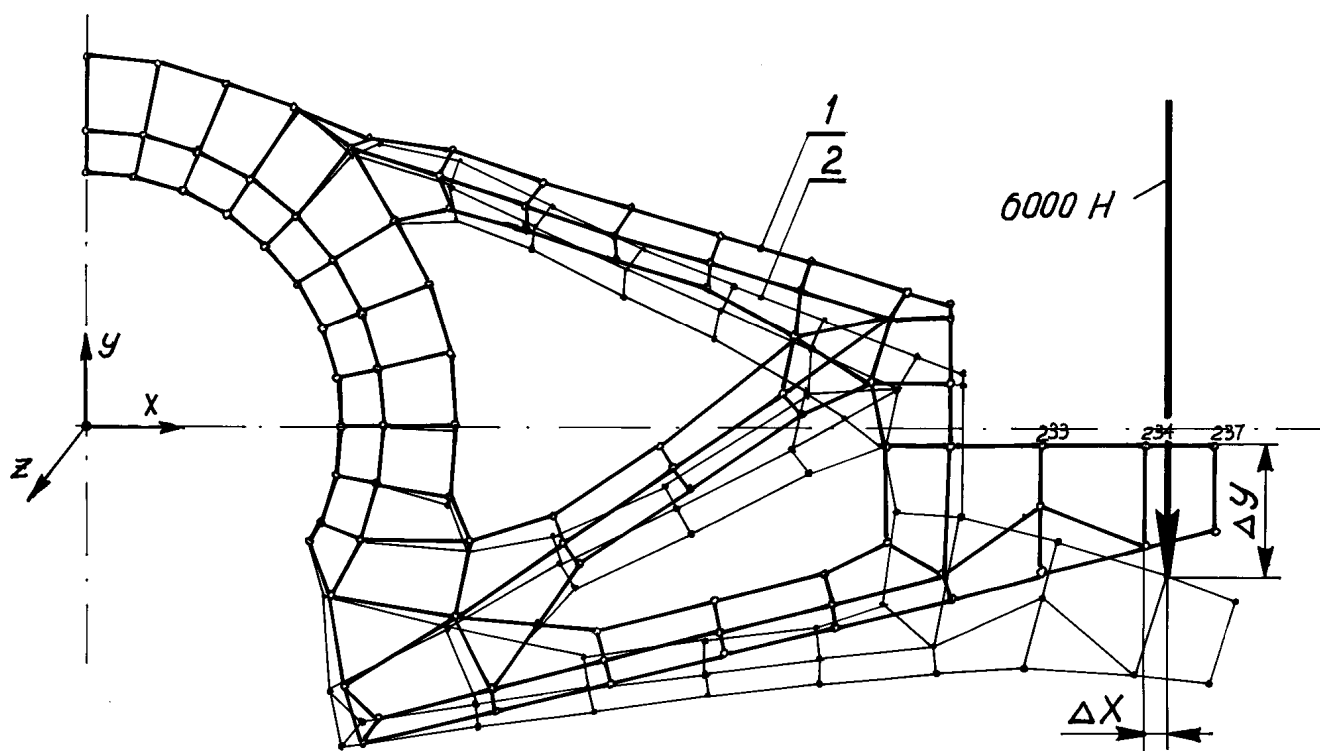
- На фиг.4-34 ÷ 4-36 изходно състояние на ЕРФЕ-1 и след неговото пълно натоварване от двоица сили по 20000 Н, приложени към периферията на диска и сила от 6000 Н, приложена към рамото на лоста. В тази връзка на фиг.4-34 е показана условно приета горна страница на диска с максимално изменение на радиусите (по оста Y) - 0,003 мм; на фиг.4-35 е показано едно от рамената на лоста с максимално изменение на дължината (по оста X) - +0,0096 мм и провисване в точката на окачване на теглилката - -0,057 мм; на фиг.4-36 е показана условно приетата задна страница на диска с максимално изменение на радиусите (по оста Y) - -0,004 мм.



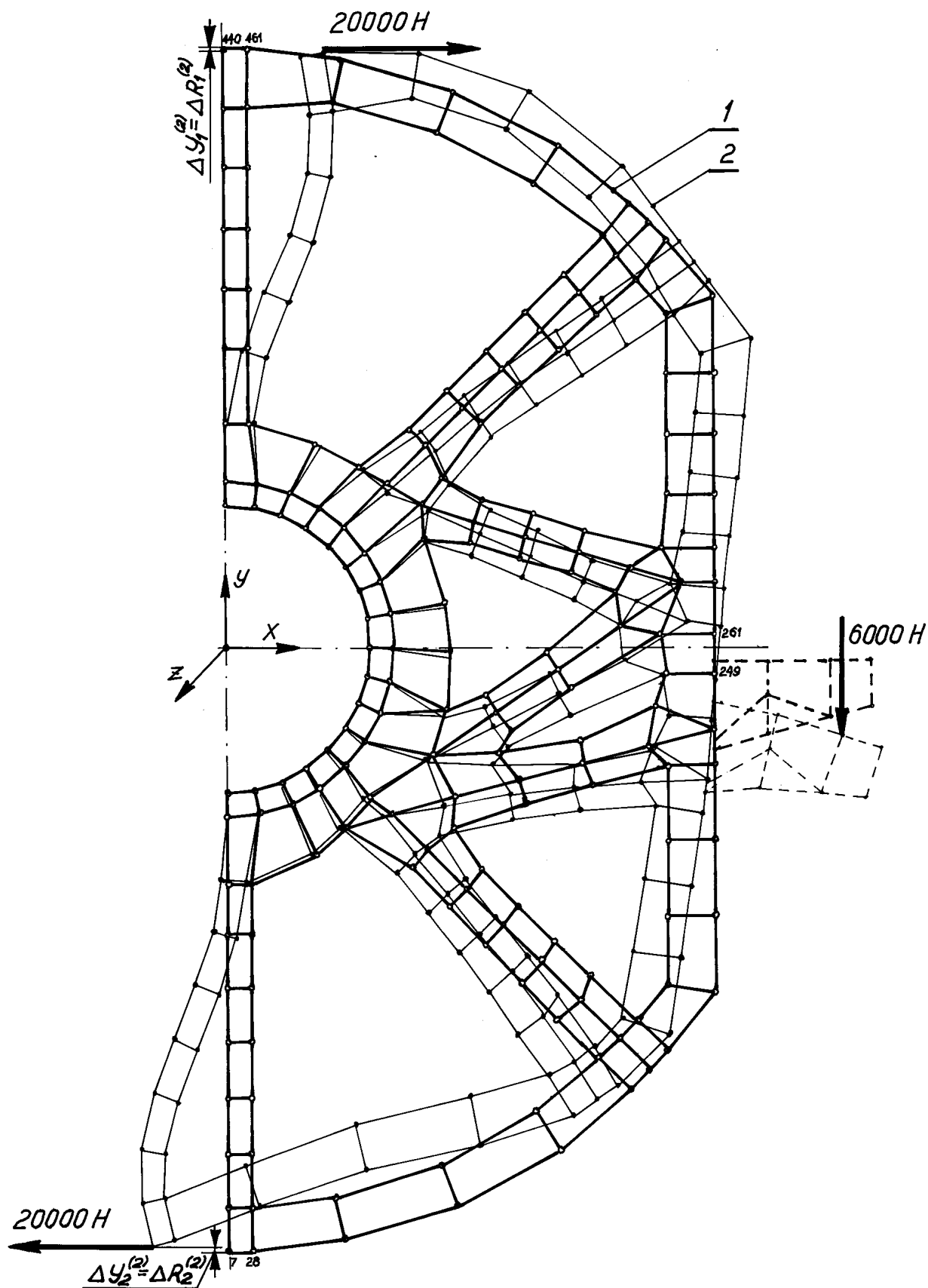
Фиг.4-33. Недеформирано (1) и деформирано (2) състояние на ЕРФЕ-2 (диск) под действие на собственото тегло, получени и построени чрез програма "VIMKE".



Фиг.4-34. Недеформирано (1) и деформирано (2) състояние на условно горна страница от ЕРФЕ-2 (диск-лост) под действие на сила 6000 Н, приложена върху рамото на ЕРФЕ-1 (двураме-нен лост), и двоица сили от 20000 Н, приложени към перифе-рията на диска, получени и построени чрез програма "VIMKE".



Фиг.4-35. Недеформирано (1) и деформирано (2) състояние на ЕРФЕ-1 (лост) по действие на сила 6000 H , приложена върху неговото рамо, и двоица сили по 20000 H , приложени към периферията на ЕРФЕ-2 (диск), получени и построени чрез програма "VIMKE".



Фиг.4-36. Недеформирано (1) и деформирано (2) състояние на условно долна страница от ЕРФЕ-2 (диск-лост) под действие на сила 6000 Н, приложена върху рамото на ЕРФЕ-1 (двухраменен лост) и двоица сили от 2000 Н, приложени към периферията на диска, получени и построени чрез програма "VIMKE".

РЕЗУЛТАТИ

от проведена метрологична атестация на
"Уредба за проверка на динамометрични
ключове"

1. Резултати от атестацията на допълнителните приспособ-
ления.

1.1. Контролна щанга (шаблон).

Резултати от трикратни измервания:

Табл.4.2.

Размер на шаблона		За контрол на:
номинален	действителен	
1000 мм	1000,5мм $\pm 0,1$	Ляво рамо на лоста
1019,2 мм	1019,2мм $\pm 0,1$	
1000 мм	1000,1мм $\pm 0,1$	Дясно рамо на лоста
1019,2 мм	1019,4мм $\pm 0,1$	

1.2. Контролен лост

Определянето на дължините на рамената на лоста за форми-
ране на момент от сила в кГс.м или в Н.м се осъществява по-
средством контролната щанга (шаблона) в ненатоварено и нато-
варено до 10 кГ. състояние.

Средни резултати от трикратни измервания: Табл.4.3.

Експерименталните резултати са получени при проведени из-
мервания на прав и обратен ход на натоварване на лоста.

Действителните дължини на рамената на лоста за обхвати
кГс.м и Н.м са определени след отчитане на отклоненията в
съответните дължини на шаблона, изнесени в Табл. 1.

Табл.4.3.

Нормиран товар върху лоста кг.	Действителна дължина на рамената на лоста в мм			
	ляво рамо		дясно рамо	
	кг.с.м	Н.м	кг.с.м	Н.м
0,00	1000,5 $\pm 0,1$	1019,0 $\pm 0,1$	999,6 $\pm 0,1$	1019,1 $\pm 0,1$
1,00	1000,3 $\pm 0,1$	1019,2 $\pm 0,1$	999,6 $\pm 0,1$	1019,1 $\pm 0,1$
2,00	1000,2 $\pm 0,1$	1019,3 $\pm 0,1$	999,6 $\pm 0,1$	1019,1 $\pm 0,1$
3,00	1000,2 $\pm 0,1$	1019,2 $\pm 0,1$	999,6 $\pm 0,1$	1019,1 $\pm 0,1$
4,00	1000,2 $\pm 0,1$	1019,2 $\pm 0,1$	999,5 $\pm 0,1$	1019,0 $\pm 0,1$
5,00	1000,1 $\pm 0,1$	1019,1 $\pm 0,1$	999,5 $\pm 0,1$	1019,0 $\pm 0,1$
6,00	1000,1 $\pm 0,1$	1019,0 $\pm 0,1$	999,5 $\pm 0,1$	1019,0 $\pm 0,1$
7,00	1000,1 $\pm 0,1$	1019,0 $\pm 0,1$	999,4 $\pm 0,1$	1019,0 $\pm 0,1$
8,00	1000,1 $\pm 0,1$	1019,0 $\pm 0,1$	999,4 $\pm 0,1$	1018,9 $\pm 0,1$
9,00	1000,0 $\pm 0,1$	1018,0 $\pm 0,1$	999,4 $\pm 0,1$	1018,9 $\pm 0,1$
10,00	1000,0 $\pm 0,1$	1018,9 $\pm 0,1$	999,3 $\pm 0,1$	1018,9 $\pm 0,1$

2. Проверка на уредбата

2.1. Проверка, реализирана посредством добавяне или отнемане на допълнителни образцови теглилки върху лоста.

2.1.1. Определяне на чувствителността

Чувствителността се определя в ненатоварено и натоварено състояние на лоста (максимален товар до 10 кг).

Получени средни резултати от трикратни измервания на прав и обратен ход:

Табл.4.4.

Товар кг. върху		Чувствителност при ляво разположение на бюлото				Чувствителност при дяс но разполож.на бюлото			
бюдо	лост	стойност на теглилка гр		приведен вър- тящ момент		стойност на теглилка гр		приведен въртящ момент	
		кг	кг	кг.с.м	Н.м	кг.с.м	Н.м	кг.с.м	Н.м
0	0	2	2	0,002	0,02	2	2	0,002	0,02
5	1	3	2	0,003	0,02	3	3	0,003	0,03
10	2	3	3	0,003	0,03	3	3	0,003	0,03
15	3	3,5	3	0,0035	0,03	2	3	0,002	0,03
20	4	5	4	0,005	0,04	2	2	0,002	0,02
25	5	5	5	0,005	0,05	3	3	0,003	0,03
30	6	5	5	0,005	0,05	3	3	0,003	0,03
35	7	6	5	0,006	0,05	4	4	0,004	0,04
40	8	6	6	0,006	0,06	4	3	0,004	0,03
45	9	7	5	0,007	0,05	5	4	0,005	0,04
50	10	8	6	0,008	0,06	5	4	0,005	0,04

Забележка: 1. Значенията, нанесени в графа: "Стойност на тег-
лилка" определят граничните стойности на теглилки, поста-
вени върху лоста и извеждащи системата "Диск-двураменен
лост" от равновесие.

2. Приведеният въртящ момент от сила като гранична
стойност на въртящ момент от сила, извеждаща системата
"Диск-двураменен лост" от равновесно положение е определен
с отчитане действителните дължини на рамената на лоста.

2.1.2. Определяне на грешката при измерване

Грешката при измерване се определя при максимално нато-
варване на лоста до 10 кг.

Получени средни резултати от трикратни измервания на
прав и обратен ход:

Табл.4.5.

Ляво разположение на блюдото						Дясно разположение на блюдото					
Сумарна стойност на тегл. поставени в/у лоста (грама)		Приведен въртящ момент от сила		Действ.стойн. на формирания въртящ момент от сила		Сумарна стойност на тегл. поставени в/у лоста (грама)		Приведен въртящ момент от сила		Действ.стойн. на формирания въртящ момент от сила	
Обхват				грешка на момента		Обхват				грешка на момента	
кг	ом	кг	ом	кг	с.м.	Н.м.	кг	ом	кг	с.м.	Н.м.
0	0	0,002	0,02	0,002	0,02	0	0	0,002	0,02	0,002	0,02
998	1001	0,998	10,01	0,995	10,39	1,000	10,00	1,003	10,00	1,0033	10,03
				0,0054	0,039					0,0033	0,03
1998	2003	1,9972	20,028	1,9942	20,058	1,998	20,02	1,9984	20,022	1,9954	20,052
				0,0058	0,058					0,0046	0,052
2998	3002	2,9968	30,017	2,9948	30,052	2,995	30,01	2,9956	30,01	2,9936	30,04
				0,0052	0,047					0,0064	0,04
3998	4003	3,996	40,022	3,994	40,042	3,997	40,05	3,9978	40,05	3,9958	40,07
				0,006	0,0421					0,0042	0,07
4997	5005	4,9945	50,04	4,9915	50,070	4,998	50,04	4,9985	50,035	4,9955	50,065
				0,0085	0,0702					0,0045	0,065
6002	6005	5,9989	60,026	5,9959	60,056	5,999	59,98	5,9996	59,968	5,9966	59,938
				0,0041	0,0564					0,0034	0,062
7004	7009	6,9998	70,076	6,9958	70,116	7,000	70,05	7,0007	70,036	7,0037	70,076
				0,0042	0,1162					0,0037	0,0763
7999	8005	7,9942	80,026	7,9902	80,056	7,9988	80,08	7,9996	80,064	7,9956	80,094
				0,0098	0,0564					0,0044	0,0943
9000	9006	8,9946	90,034	8,9896	90,074	8,997	90,04	8,997	90,014	8,992	90,054
				0,0104	0,0735					0,008	0,0535
10000	10000	9,995	100,04	9,987	100,08	9,996	100,10	9,996	100,07	9,991	101,11
				0,013	0,0805					0,009	0,111

Забележка: 1. Приведеният въртящ момент от сила е определен с отчитане на действителната дължина на рамената на лоста.

2. Действителната стойност на формирания въртящ момент от сила (съответно грешка на формирания въртящ момент от сила) се определя след отчитане на чувствителността на системата "Диск-двухраменен лост", като се приема максималното отклонение (абсолютна стойност).

2.2. Проверка, реализирана посредством добавяне или отнемане на допълнителни образцови теглилки върху блюдото

2.2.1. Определяне на чувствителността

Чувствителността се определя в ненатоварено и натоварено състояние на блюдото (съответно лоста) при максимален товар върху блюдото - 50 кг, а върху лоста - 10 кг.

Получени средни резултати от трикратни измервания на прав и обратен ход: Табл.4.6.

Табл.4.6.

Товар върху		Чувствителност при ляво разположение на блюдото				Чувствителност при дясно разположение на блюдото			
блюдо	лост	ст. на тегл. гр.		приведен въртящ момент		ст. на тегл. гр.		приведен въртящ момент	
кг	кг	кг	см	Н.м.	Н.м.	кг	см	Н.м.	Н.м.
0	0	13	12	0,0026	0,024	13	12	0,0026	0,024
5	1	13	15	0,0022	0,03	15	13	0,003	0,026
10	2	14	20	0,0028	0,04	15	15	0,003	0,03
15	3	17	20	0,0034	0,04	15	17	0,003	0,034
20	4	17	20	0,0034	0,04	10	20	0,002	0,04
25	5	20	22	0,004	0,044	10	19	0,002	0,038
30	6	22	22	0,0044	0,044	10	20	0,002	0,04
35	7	22	25	0,0044	0,05	13	20	0,0026	0,04
40	8	27	28	0,0054	0,056	20	22	0,0028	0,04
45	9	30	28	0,006	0,056	20	22	0,004	0,04
50	10	32	30	0,0064	0,06	20	22	0,004	0,044

Забележка: 1. Значенията нанесени в графа: "Стойност на теглилка" определят граничните стойности на теглилки, поставени върху блюдото и извеждащи системата "Диск-двухраменен лост" от равновесие.

2. Приведеният въртящ момент от сила, като гранична стойност, извеждаща системата "Диск-двухраменен лост" от равновесно положение е определен с отчитане на предавателното отношение между радиуса на диска и дължината на рамото на лоста (1:5).

2.2.2. Определяне грешката при измерване

Грешката при измерване се определя за максимално натоварване на блюдото до 50 кГ.

Получени резултати от трикратни измервания на прав и обратен ход: (Табл.4.7.).

Табл.4.7.

Ляво разположение на блюдото						Дясно разположение на блюдото					
Сумарна стойност на теглопоставени върху блюдото (грама)		Приведен въртящ момент от сила		Действит. стойност на формирующ.момент от сила		Сумарна стойност на теглопоставени върху блюдото (грама)		Приведен въртящ момент от сила		Действит. стойност на формирующ.момент от сила	
Обхват						Обхват					
кГсм	Нм	кГсм	Нм	кГсм	Нм	кГсм	Н.м.	кГсм	Нм	кГсм	Н.м.
0	0	00002	0024	00026	0024	0	0	00026	0024	00026	0024
				00026	0024					00026	0024
5010	4990	1002	998	10046	995	5012	4995	10024	999	10054	9964
				00046	015					00054	0036
10010	9987	2002	19974	20042	19934	10018	9986	20036	19972	20066	19942
				00042	0066					00066	0058
15015	14991	3003	29982	30058	29948	15022	1499	30044	2998	30074	29946
				00058	0052					00074	0054
20015	19988	4003	39976	40064	39936	20000	19980	4000	3996	4002	3992
				00064	0064					0002	008
25020	24970	5004	4994	50074	49896	25010	2499	5002	4998	5004	49942
				00074	0104					0004	0058
29980	29975	5996	5995	59919	59906	30007	30012	60014	60024	60032	60064
				00084	0094					00032	0064
34980	34950	6996	699	69916	6985	35000	35010	7000	7002	70026	7006
				00084	0150					00026	0060
40010	39975	8002	7995	80074	79894	40010	40015	8002	8003	80048	8007
				00074	0106					00048	0070
45000	44970	9000	8994	9006	89884	45010	45025	9002	9005	9002	90094
				0006	0116					0006	0094
50000	49967	10000	99934	10006	99874	50020	50050	0004	1001	10008	10144
				00064	0126					0008	0144

- Забележка: 1. Приведеният въртящ момент от сила, като гранична стойност, при която системата "Диск - двураменен лост" се намира в равновесно натоварено състояние е определен с отчитане предавателното отношение между радиуса на диска и дължината на рамото на лоста (1:5).
2. Действителната стойност на формирания въртящ момент от сила (съответно грешка на формирания въртящ момент от сила) се определя след отчитане на чувствителността на системата "Диск - двураменен лост", като се приема максималното отклонение (абсолютна стойност).

Обща забележка:

Граничните отклонения на теглилките са от порядък, който не оказва влияние върху точността на уредбата. Поради това, в така изнесените резултати от проведената метрологична атестация на "Уредба за проверка на динамометрични ключове" не са посочени техните гранични отклонения.

3. Статистическа обработка на резултатите от проведената метрологична атестация

Получените резултати са изнесени в Табл.4-8.

Табл.4.8.

Натовар- ван елемент	Параметър	Средно-статисти- чески значения на параметъра	Разположение на блюдото			
			Обхват-кГс.м.		Обхват - Н.м.	
			ляво	дясно	ляво	дясно
Л О С Т	ЧУВСТВИ- ТЕЛНОСТ	Средна стойност	0,0049	0,0033	0,0422	0,031
		Средно-квадра- тична стойност	0,0052	0,0034	0,044	0,032
		Обща средна с-ст	0,0041		0,0364	
		Обща средна ква- дратична стойност	0,0044		0,0384	
	ГРЕШКА във фор- мирания въртящ момент	Средна стойност	0,0068	0,0049	0,0599	0,0612
		Средно-квадра- тична стойност	0,0074	0,0053	0,065	0,0663
		Обща средна с-ст	0,0058		0,0606	
		Обща средна ква- драт.стойност	0,0064		0,0655	
Д И С К	ЧУВСТВИ- ТЕЛНОСТ	Средна стойност	0,0041	0,0028	0,044	0,036
		Средно-квадра- тична стойност	0,0043	0,0029	0,045	0,037
		Обща средна с-ст	0,0035		0,0402	
		Обща средна ква- дратична ст-ст	0,0037		0,0413	
	ГРЕШКА във фор- мирания въртящ момент	Средна стойност	0,0061	0,0048	0,095	0,067
		Средно-квадра- тична стойност	0,0064	0,0052	0,103	0,074
		Обща средна с-ст	0,0055		0,081	
		Обща средна ква- драт.стойност	0,0058		0,0897	
ОБЩИ СРЕДНО- СТАТИ- СТИЧЕС- КИ ЗНА- ЧЕНИЯ НА ПАРАМЕТ- РИТЕ	ЧУВСТВИ- ТЕЛНОСТ	Средна стойност	0,0045	0,003	0,043	0,034
		Средно-квадра- тична стойност	0,0048	0,0032	0,045	0,034
		Обща средна с-ст	0,0038		0,0383	
		Обща средно-ква- драт.стойност	0,0041		0,0399	
	ГРЕШКА във фор- мирания въртящ момент	Средна стойност	0,0064	0,0048	0,078	0,064
		Средно-квадра- тична стойност	0,0069	0,0052	0,086	0,071
		Обща средна с-ст	0,0055		0,071	
		Обща средно-ква- драт.стойност	0,0058		0,0797	

4.5. Изводи

1. Проведен е теоретичен анализ и са определени: възможните изменения в основните метрологични и експлоатационни параметри на образцово устройство за формиране на въртящ момент от сила и тяхното влияние върху крайния резултат от измерването, както и възможностите за прилагане на различни методи за проверка на работни средства за измерване - ДК.

2. Проведен е теоретичен анализ на обобщените зависимости между моментоформиращите елементи на еталонен комплекс за формиране и предаване на въртящ момент от сила и са изследвани грешките при тяхното взаимодействие и предаване на въртящия момент към проверяваното устройство. Определени са конкретните зависимости за точността, чувствителността и сумарната грешка при атестиране чрез прилагане метода на заместване за увеличаване измервателния обхват на еталонния комплекс.

3. Разработена е и е утвърдена от НМЦ основна концепция за изграждане на Национален еталон на НРБ за формиране, предаване и сравняване на въртящ момент от сила, като са предложени и приети за реализация оригинално схемно и конструктивно решения, изградени на основата на унифицираното схемно решение на образцовото СИ, като са анализирани всички възможни варианти.

4. Разгледано е приложението на схема за унификация на измервателни устройства, използвано при разработката на образцово и еталонно устройства за формиране, предаване и сравняване на въртящ момент от сила.

Разгледани са възможностите за прилагане на метода за допълнителна корекция и компенсация при серийно производство на подобни СИ, както и за реализиране на модулни и базови СИ на въртящ момент от сила с различно назначение, чрез внедряване на унифицирани схемни и конструктивни решения.

5. За метрологично обезпечаване на моментоизмервателни устройства (динамометрични ключове) е разработено и внедрено оригинално образцово измервателно средство, наречено "Уредба за проверка на динамометрични ключове" (Искане за авт.свид. № 71564. Положит.реш.от 27.06.1986 г.). Осигурена е висока степен на достоверност при формиране и предаване на въртящия момент, посредством допълнително реализирани приспособления за атестация и проверка.

6. За метрологично нормативно осигуряване на устройството са разработени и утвърдени от НМЦ при КК към МС методики за метрологична атестация и проверка на "Уредба за проверка на динамометрични ключове" и за проверка на динамометрични ключове.

7. Проведена е метрологична атестация на уредбата, и са получени обобщени експериментални резултати. Извършена е статистическа обработка на получените стойности и са определени експерименталните числени значения на основните метрологични параметри.

8. За нормативно метрологично осигуряване на еталонния комплекс и извършване на предварителен теоретичен анализ са разработени методики за метрологична атестация на основните моментиформиращи елементи и допълнителни съоръжения.

9. Предложен е графоаналитичен метод и е разработен табличен алгоритъм за изграждане на двустранно натоварвани силоформиращи устройства, осигуряващи монотонно изменение (нарастване или намаляване) на стойността на физичната величина "сила", с възможно най-малка дискретност. Синтезиран е вариант на силоформиращи устройства с минимизирани реакции в опорите.

10. Утвърдени са от НМЦ при КК към МС технико-икономическо задание за проучване, разработване и внедряване на метод и уредба за проверка на средства за измерване на въртящ момент и идеен проект на устройството с краен резултат - Национален еталон за въртящ момент от сила и съответно нормативно метрологично осигуряване. Предложена е оригинална схема на механизъм за формиране и предаване на въртящ момент от сила. (Искане за авторско свидетелство на НРБ № 80401/02.07.1987 г. Положително решение на ИНРА от 04.1988).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Направена е обща класификация на средствата за измерване на механични премествания, сили и въртящи моменти от сили, съобразно използваните физични принципи за измерване и начините за възприемане и преобразуване на физичната величина.

2. Разработен е метод за подобряване на метрологичните и експлоатационни параметри на нови и намиращи се в експлоатация СИ (защитен с авторско свидетелство), чрез допълнително въздействие във вид на механично преместване или сила върху еластично-деформируем или недеформируем първичен мащабен преобразувател, преобразуващ измерваната физична величина в пропорционално механично преместване или деформация.

3. Въз основа на разработения метод е предложен подход за изграждане на унифицирани модулни устройства за измерване на механични величини, преобразувани в механично преместване или деформация, с възможности за регулиране на пределно достигнатата точност, вида, диапазона на изменение на измерваната физична величина и за едновременно измерване на две физични величини. В тази връзка е предложен подход за прилагане на метода на заместване при формиране и предаване на образцова физична величина към проверяваното измервателно устройство с висока точност и разширен измервателен обхват.

4. Предложена е схема за функционална унификация на преобразуватели и СИ на механични величини при тяхната разработка, чрез итеративно изпълняване на унифицирани последователности от действия за изграждане на рационални схемни и конструктивни решения и тяхното оптимизиране по зададени метро-

логични, експлоатационни и технологични изисквания преди изпълнение на конструктивната документация. Схемата е приложена при разработка на УЩК и Държавен еталон за въртящ момент от сила.

5. Разработен е лабораторен модел на устройство за измерване на механични премествания и сили, предназначено за експериментална и метрологична проверка на възможностите на метода за допълнително формиране на измервателния сигнал, включващо СИ и първичен еластично-деформируем преобразувател във вид на пръстен, изградени по оригинална, авторски защитена схема. В тази връзка са разработени две рационални схеми на пружинно-оптични преобразуватели с увеличен измервателен обхват, изградени по оригинални, авторски защитени схеми, като една от тях е реализирана и използвана в лабораторния модел като устройство за измерване на механични премествания.

6. Разработен е лабораторен стенд за извършване на необходимите експерименти върху лабораторния модел на устройството, включващи метода за допълнително формиране на измервателния сигнал и метода на заместване при проверка работоспособността, метрологичните и експлоатационни параметри на устройството. За целта са разработени методики за точностен анализ и провеждане на експерименти за проверка на аналитично получените зависимости ~~и~~ крайни числени стойности на характерни за устройството функционални зависимости. В тази връзка е доказана работоспособността и ефективността на предложения метод за допълнително формиране на измервателния сигнал и схемно решение на измервателно устройство с вграден първичен мащабен преобразувател, при измерване на две различни по природа физични величини – механично преместване и сила. С това е доказана възможността за реализиране на схемни и конструктивни

решения на преобразуватели и СИ за измерване на повече от една физични величини въз основа на получените експериментални резултати.

7. Разработено е образцово устройство (уредба) за формиране и предаване на образцов въртящ момент от сила, предназначено за проверка на динамометрични ключове, което е реализирано по оригинална, авторски защитена схема. Същото е атестирано от Национален метрологичен център - София и внедрено в метрологичната практика на Център по качеството - гр. Плевен, като изходно образцово СИ. В тази връзка са разработени методики за точностен анализ и експериментални изследвания на уредбата, като получените практически резултати при нейната атестация потвърждават целесъобразността на приетия подход за теоретично изследване и схемно решение, както и високите метрологични и експлоатационни възможности на устройството при формиране на образцов въртящ момент с висока (клас на точност - 1) точност, и неговото предаване при атестиране и проверка на динамометрични ключове. Същото схемно решение е използвано като базово за разработка на концепция, обобщени структурни и кинематични схеми, както и схемни и конструктивни решения на отделни функционални единици на Държавен еталон за въртящ момент от сила, изградени по оригинални схеми, една от които е авторски защитена. В тази връзка, при разработката на концепцията и идейния проект на еталона е приложена схемата за функционална унификация, при което е доказана нейната целесъобразност и приложимост при разработката и на устройства, формиращи изходната физична величина чрез определено комбиниране на две различни по природа физични величини - сила и рамо (дължина).

8. Аналитично са разработени базови структури на методики за извършване на проверка и атестация на еталонни и образцови

средства за формиране, предаване и измерване на въртящ момент от сила, чрез прилагане на метода на заместване за увеличаване диапазона на формираната физична величина и гарантиране високите метрологични показатели при нейното предаване, сравняване и измерване, като едновременно с това се повишават точностната и експлоатационна надеждност на съоръженията, изградени върху обща схема на базова рамоформираща система.

9. Предложен е графоаналитичен метод и е разработен табличен алгоритъм за изграждане на двустраннонатоварвани силоформиращи устройства, осигуряващи монотонно изменение (нарастване или намаляване) на стойността на физичната величина сила с възможно най-малка дискретност. Синтезиран е вариант на силоформиращи устройства с минимизирани реакции в опорите.

ОСНОВНИТЕ РЕЗУЛТАТИ ОТ ДИСЕРТАЦИЯТА
СА ОТРАЗЕНИ В СЛЕДНИТЕ ПУБЛИКАЦИИ:

1. Утев Д.И., Разработване и изследване на оптико-електронно устройство за измерване на линейни размери. Дипломна теза. София, ЦСДК към ВМЕИ "Вл.И.Ленин", 1982 г.
2. Парушев П.Р., Утев Д.И., Пружинно-оптичен механизъм. Авторско свидетелство на НРБ № 34706/Бюлетин № 11 - 15.11.1983.
3. Парушев П.Р., Утев Д.И., Пружинно-оптичен механизъм. Авторско свидетелство на НРБ № 34707/Бюлетин № 11 - 15.11.1983.
4. Парушев П.Р., Утев Д.И., Метод и устройство за измерване на сили. Авторско свидетелство на НРБ № 34712/Бюлетин № 11, 15.11.1983.
5. Парушев П.Р., Утев Д.И., Прецизионные устройства для измерения линейных перемещений. Рефераты докладов Второй международной конференции ученых и специалистов стран-членов СЭВ с выставкой приборов. "Научприбор СИБ-84", Пловдив, 24-27 септември, 1984, с.126.
6. Парушев П.Р., Утев, Д.И., Прецизионные средства для измерения линейных перемещений. Доклады на V-ти национален конгрес по ТПМ с международно участие, Варна 23 - 29 септ. 1985, С., БАН, 1986, книга 4, стр. 386 - 395.
7. Парушев П.Р., Утев, Д.И., Устройство для образцового измерения моментов сил. Доклады на V-ти национален конгрес по ТПМ с международно участие, Варна, 23-29 септ. 1985, С., БАН, 1986, книга 4, стр. 396-401.
8. Парушев, П.Р., Утев, Д.И., Ангелова Л.А., Метрологично осигуряване на средствата за измерване на въртящ момент от сила. Материали на национална конференция "Метрологично

осигуряване на научно-внедрителската дейност", Варна, 3-4 ноември, 1986.

9. Утев, Д.И., Парушев, П.Р. Устройство за проверка на динамометрични ключове. Авторско свидетелство на НРБ № 40441/Бюлетин № 12, 27.08.1986.
10. Парушев, П.Р., Утев, Д.И. Обеспечение высокоточных измерений механических величин. Материалы Второго совещания представителей академий наук соц. стран по вопросам метрологии. София, 6-9 октября, 1987.
11. Утев, Д.И., Парушев, П.Р., Бързаков, П.И., Иванов, В.А., Балъзов, Г.П. Моментозадаващ механизъм на устройство за формиране и предаване на въртящ момент от сила. Авторско свидетелство на НРБ № 44333/Бюлетин №
12. Парушев, П.Р., Утев, Д.И. Подобряване на метрологичните характеристики на уреди за измерване на механични величини. Материали на национ. научно-техническа конференция с международно участие "Измерване-88", София, 10-11 ноември 1988 г.

Научно-приложни разработки на автора по
темата на дисертацията

1. Проучване, разработване, създаване и внедряване на метод и уредба за проверка на средства за измерване на въртящ момент. Част I - Проучване. Етапи П1, П2 и П3. Отчети по тема. София, НИЛ "Програма" при ЕЦММ-БАН, 1986 г.
2. Техничко-икономическо задание за разработка на Държавен първичен еталон за въртящ момент от сила на НМЦ към КК при МС. София, НМЦ към КК, февруари 1987 г.
3. Разработване на системо-техническа и конструктивна документация и опитен образец на уредба за възпроизвеждане на въртящ момент от сила. Етапи И-2.1 и И-2.2. Отчети по тема. София, НИЛ "Програма" при ЕЦММ-БАН, 1987 и 1988 г.

Внедрени разработки, свързани с темата
на дисертацията

1. Парушев П.Р., Утев Д.И. Метод и устройство за измерване на сили. Акт за внедряване на изобретение. София, ИМБМ-БАН, декември 1986 г.
2. Парушев П.Р., Утев Д.И. Пружинно-оптичен механизъм. Акт за внедряване на изобретение. София, ИМБМ-БАН, декември 1986 г.
3. Утев Д.И., Парушев П.Р. Устройство за проверка на динамометрични ключове. Плевен, ОЦК, април 1986 г. Акт за внедряване на изобретение № 13/18.12.1986 г., София, НМЦ при КК към МС, декември 1986 г.
4. Утев Д.И. Методика за метрологична атестация и проверка на "Уредба за проверка на динамометрични ключове". Плевен, ОЦК, април 1986 г. Утвърдена от НМЦ при КК към МС, май 1986 г.
5. Утев Д.И. Методика за проверка на динамометрични ключове. Плевен, ОЦК, април 1986 г. Утвърдена от НМЦ при КК към МС, май 1986 г.

Резултатите от работата по дисертацията
са докладвани на:

- XII Национален преглед на ТНТМ "Математика и механика и приложението им в науката и практиката". София, юни 1983 г.
- IX Национална отчетна научна конференция по математика и механика. Преглед на научните и научно-приложните постижения през 1983 г. в областта на математиката за достойна среща на Националната партийна конференция. София, декември 1983 г.
- Научен семинар на сектор УУМС при ИМБМ-БАН. София, май 1984.
- Втора международна конференция на научни работници и специалисти от СИБ с изложба на уреди "Научприбор СИБ-84", Пловдив, септември 1984 г.
- V Национален конгрес по теоретична и приложна механика с международно участие. Варна, септември 1985 г.
- Семинар на катедра "Приборы точной механики" в Ленинградския институт по точна механика и оптика. Ленинград, април 1986 г.
- Втори национален семинар "Механо-математично моделиране на механични системи", Гюлежица, април 1986 г.
- Национална конференция "Метрологично осигуряване на научно-внедрителската дейност. Варна, ноември 1986 г.
- XII Национална отчетна конференция по математика и механика. София, декември 1986 г.
- Семинар на катедра "Технология на машиностроенето" на Висшето инженерно училище в Кошалин, Полша, май 1987 г.
- Семинар на Метрологична лаборатория г.Тимишоара, СРР, Ти-

мишоара, октомври 1987 г.

- Юбилейна научна сесия, посветена на 70 годишнината на ВОСР и 25 годишнината на ИМБМ. София, октомври 1987 г.
- Второ съвещание на представители на АН на соц. страни по въпросите на метрологията. София, октомври 1987 г.
- Национална научно-техническа конференция с международно участие, посветена на 100 годишнината на метрологията в България "Измервания-88". София, ноември 1988 г.
- Общ семинар по механика. София, януари 1989 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Алексеева Е.П., Богуславский М.Г., Каган А.Н., Дмитриева Т.И., Крицын А.И. - Прецизионная установка для измерения диаметров отверстий в длинах световых волн. Измерительная техника (И.Т.), 1972, № 11.
2. Баранов В.А, Суздалева П.И. - Влияние влажности воздуха на показания двухпризменных весов. И.Т. 1981, № 1.
3. Бауманн Э. - Измерение сил электрическими методами. М., Мир, 1978.
4. Бегларян В.Х. - Проектирование приборов, оптимальных по конструкторско-технологическим параметрам. М., Машиностроение, 1977.
5. Бегларян В.Х. - Механические испытания приборов и аппаратов. М., Машиностроение, 1980.
6. Беркунова Е.Н., Донде Ю.Я., Лукор С.Г. - Расчет погрешности измерений параметров изделий в процессе аттестации методик выполнения измерений. И.Т., 1980, № 11.
7. Браславский Д.А., Петров В.В. - Точность измерительных устройств. М., Машиностроение, 1976.
8. Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. - Основы метрологии. М., Изд-во стандартов, 1972.
9. Вагнер Г.Г., Митрофанов А.А., Барков В.Н., Лазерные и оптические методы контроля в самолетостроении. М., Машиностроение, 1977.
10. Виноградов Ю.Д., Машинистов В.М., Розентул С.А. - Электронные измерительные системы для контроля малых перемещений. М., Машиностроение, 1976.
11. Вострокнутов Н.Г., Евтихийев Н.Н. - Информационно-измерительная техника. М., Высшая школа, 1977.
12. Воронков С.П., Кочков Г.В. - Линеаризирующий емкостный преобразователь тензовесов. И.Т., 1981, № 5.

13. Гаузнер С.И., Кивилис С.С., Осокина А.П., Павловский А.Н. - Измерение массы, объема и плотности. М., Изд-во стандартов, 1972.
14. Гейлер Э.Ш. - Самонастраивающиеся системы активного контроля. М., Машиностроение, 1978.
15. Гинзбург П.Б., Макаров А.В. - Применение прецизионных сплавов I 210 и X 13104 для улучшения метрологических магнитоупругих преобразователей крутящего момента. Метрология, 1975, № 11.
16. Гитис Э.И., Могуева О.В., Собкин Б.Л. - Исследование точностных характеристик АПЦ с учетом взаимного влияния узлов. И.Т., 1982, № 12.
17. Горовой А.А., Доценко Б.И., Кузьмин В.П. - Обоснование точности средств измерений для поверки автоматических средств контроля. Метрология, 1985, № 4.
18. Горохов Л.Я, Тененбаум Ю.З. - Установка для проверки измерительных головок на основе фоторастровой измерительной системы. И.Т., 1985, № 12.
19. ГОСТ 8.541-86, Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений крутящего момента силы.
20. Грановский В.А. - Динамические измерения. Л., Энергоатомиздат, 1984.
21. Грейм И.А. - Элементы проектирования и расчет механизмов приборов. Л., Машиностроение, 1972.
22. Данилевич Ф.М., Саколов И.А., Голод С.Д. - Унификация оптических контрольно-измерительных приборов. И.Т., 1976, № 7.
23. Домрачев В.Г., Котов Ю.Т., Мейко В.С., Сиряченко И.В. - Дополнительная погрешность цифровых преобразователей угла при воздействии внешних эксплуатационных факторов. Метрология, 1984, № 11.

24. Елизаров А.С., Матюнин П.В., Архипенко А.Г., Дубовик Н.Г.-
Комплексная стандартизация и аттестация методик выполнения измерений. И.Т., 1984, № 12.
25. Загорский Я.Т. - Автокомпенсация погрешности - структурный метод повышения точности измерительных устройств. И.Т. 1986, № 10.
26. Зарубежные электронные лабораторные и торговые весы.
(фирмы: Sartorius (ФРГ); Pae Oerlicon (Швейцария); Tokyo Electric Co.Ltd; Teraoka Seiko Co.Ltd (Япония); Bizerba Waagen-und Maschinenfabrik (Австрия); Berkel (Нидерландия);
ЦНИИТЭИ приборостроения, Э.И., ТС-7, "Машины и приборы для измерения механических величин", 1987, № 1.
27. Земсков Г.Г., Савельев В.А. - Средства измерения линейных размеров с использованием ОКГ. М., Машиностроение, 1977.
28. Игнатов А.В., Косов Л.И. - Исследование влияния температуры на характеристики тензометрического динамометра. И.Т. 1977, № 8.
29. Ильин В.Г., Исаев Л.К., Коробов В.К., Тарбеев В.В. - К внедрению в народное хозяйство единного эталона времени, частоты, длины. И.Т., 1986, № 2.
30. Йордан Э. - Структурное проектирование и конструирование программ. М., Мир, 1979.
31. Казаков К.И., Брянский Л.Н. - Применение методов унификации и агрегатирования при проектировании эталонов и средств измерений высшей точности. И.Т., 1980, № 2.
32. Карпов Е.М. - Измерительные преобразователи с двумя степенями свободы. М., Энергия, 1972.
33. Клокова Н.П. - Компенсация временных погрешностей тензорезисторных измерительных устройств. И.Т., 1985, № 9.

34. Колев Н.П., Чаушев П.Д., Гавраилов В.Г. - Основы на метрологичното осигуряване. С., Техника, 1982.
35. Кочергин А.И., Ковалев Л.Д. - Основы надежности металло-режущих станков и измерительных приборов. Минск, Высшая школа, 1974.
36. Кравченко А.Ф. - Погрешность измерений нагрузок группой параллельно установленных образцовых динамометров. Метрология, 1982, № 12.
37. Курочкин А.П. - Перспективы развития средств контроля в машиностроении. И.Т., 1984, № 11.
38. Кутай А.К. и др. Справочник по производственному контролю в машиностроении, под ред. Кутая А.К. Л., Машиностроение, 1974.
39. Лебедевский М.С., Федотов А.И. - Автоматизация в промышленности. Л., Лениздат, 1976.
40. Линтер Р., Милс Х., Уитт Б. - Теория и практика структурного программирования. М., Мир, 1982.
41. Логинов В.Н. - Электрические измерения механических величин. М., Энергия, 1976.
42. Любомиров А.Б., Павлов И.В., Смирнова Г.А. - Влияние угловой скорости вращения земли на точность взвешивания. И.Т., 1984, № 6.
- 44 Малиновский В.Н., Панфилов В.А. - Классификационные признаки схем автоматической компенсаций схематических погрешностей. И.Т., 1982, № 12.
43. Маквецов Е.Н., Тартаковский А.Д. - Дискретные модели приборов. М., Машиностроение, 1982.
45. Марков Н.Н. - Проблемы точности измерения линейных размеров в машиностроении. И.Т., 1984, № 9.

46. Мартяшин А.И., Шахов Э.К., Щляндин В.М. – Преобразователи электрических параметров для систем контроля и измерения. М., Энергия, 1976.
47. Миронов Ю.С. – Влияние вибрационных воздействий на точность линейных измерений. И.Т., 1977, № 1.
48. Мирюк Ю.П., Полунов Ю.Л. – Анализ способов подключения тензорезисторных датчиков к измерительному преобразователю. Метрология, 1986, № 7.
49. Моисейченко В.С. – Метод и средства уравнивания сил с упругим масштабированием. Метрология, 1982, № 12.
50. Москалик Л.М., Рядчиков В.Е. – Компенсация температурной погрешности упругих элементов измерительных преобразователей. И.Т., 1981, № 12.
51. Недев Ц.К. Элементи на уредите и машините. С., Техника, 1975.
52. Одинаец С.С., Топилин Г.Е. – Средства измерения крутящего момента. М., Машиностроение, 1977.
53. Ольштейн Я.А. – Надежность автоматов для контроля линейных размеров. М., Машиностроение, 1979.
54. Оптические приборы в машиностроении. Справочник. М., Машиностроение, 1974.
55. Орлов А.Н. – Методологически основи на конструирането. Р., В.Т.У. "Ангел Кънчев", 1986.
56. Орнатский П.П. – Теоретические основы информационно-измерительной техники. К., Вища школа, 1976.
57. Осадчий и др. – Проектирование датчиков для измерения механических величин, под ред. Осадчего Е.П., М., Машиностроение, 1979.
58. Парушев П.Р., Радомиров Р.В., Ганчев С.П. – Метод и устройство за контрол и измерване параметрите на зъбни ко-

- дела. Авторско свидетелство на НРБ, рег. № 28895, 1980.
59. Парушев П.Р., Сорочкин Б.М., Ганчев С.П. - Устройство для точной настройки измерительной станции контрольно-сортiroвочного автомата. Авторско свидетелство СССР, рег. № 595022.
60. Парушев П.Р., Сорочкин Б.М. - Смещение настройки и настройка автоматизированных средств контроля - Доклады III-го международного симпозиума "Автоматизация и научное приборостроение '83", А I-83, Варна, 16-22 май 1983.
61. Парушев П.Р., Утев Д.И. - Пружинно-оптичен механизъм. Авторско свидетелство на НРБ, рег. № 34706, 1983.
62. Парушев П.Р., Утев Д.И. - Пружинно-оптичен механизъм. Авторско свидетелство на НРБ, рег. № 34707, 1983.
63. Парушев П.Р., Утев Д.И. - Метод и устройство за измерване на сили. Авторско свидетелство на НРБ, рег. № 34712, 1983.
64. Парушев П.Р., Утев Д.И. Устройство за проверка на динамометрични ключове. Искане за авторско свидетелство на НРБ № 71564/27.08.1985. (Положително решение на ИНРА от 27 юни 1986).
65. Парушев П.Р., Утев Д.И. - Прецизионные устройства для измерения линейных перемещений. Научнрибор СЭВ-84, Пловдив, НРБ, 24-27.09.1984.
66. Парушев П.Р., Утев Д.И. - Прецизионные средства для измерения линейных перемещений, V конгрес ТПМ, Варна, 23 - 29.09.1985, кн.4.
67. Парушев П.Р., Утев Д.И. - Устройство для образцового измерения моментов сил, V конгрес ТПМ, Варна, 23-29.09.1985, кн.4.
68. Парушев П.Р., Утев Д.И. и др. - Проучване, разработване, създаване и внедряване на метод и уредба за проверка на средства за измерване на въртящ момент. Част I - Проучва-

- не - Етап II-1. "Проучване състоянието на въпроса за създаване на еталонни средства за измерване на въртящ момент". Отчет по тема, София, НИЛ "Програма" при ЕЦММ - БАН, април, 1986.
69. Парушев П.Р., Утев Д.И. и др. - Същата тема. Етап II-2. "Изработване на концепция за създаване на Национален еталон за въртящ момент от сила". София, НИЛ "Програма" при ЕЦММ - БАН, декември, 1986.
70. Парушев П.Р., Утев Д.И. и др. - Същата тема. Етап II-3. "Създаване на технико-икономически доклад и задание за разработка с обосновка за разработване на Национален еталон за въртящ момент от сила". София, НИЛ "Програма" при ЕЦММ - БАН, декември, 1986.
71. Парушев П.Р., Утев Д.И., Ангелова Л., - Метрологично осигуряване на средствата за измерване на въртящ момент от сила. Материали на Националната НТК "Метрологично осигуряване на научно-внедрителската дейност". Варна, 3 - 4 ноември 1986.
72. Парушев П.Р., Утев Д.И. - Обеспечение высокоточных измерений механических величин. Доклад на Втором совещании представителей АН соц.стран по вопросам метрологического обеспечения. 6 - 9 октомври 1987.
73. Парушев П.Р., Утев Д.И. и др. - Разработване на системотехническа и конструктивна документация и опитен образец на уредба за възпроизвеждане на въртящ момент от сила. Етап II-2.1. "Разработване на идеен проект". Отчет по тема. София, НИЛ "Програма" при ЕЦММ-БАН, декември 1987.
74. Прочност, устойчивост, колебания. Справочник. Т.1, под ред. Биргера И.А. и Пановко Я.Г., М., Машиностроение, 1986.

75. Рабинович А.Н. - Приборы и системы автоматического контроля размеров деталей машин. К., Техника, 1970.
76. Рабинович Г.Б. - Способ компенсации погрешностей измерений технологических параметров. И.Т., 1976, № 9.
77. Ратайчик Л.И., Ходыкин В.Н. - Влияние температуры на изменение показаний измерительных головок. И.Т., 1983, № 7.
78. Рекомендации по стандартизации СЭВ. Средства измерения момента пары сил образцовые. Методы поверки. Тема 732.2388-72.
79. Рыбалченко Ю.И. - Магнитоупругие датчики крутящего момента. М., Машиностроение, 1981.
80. Слезингер И.И. - Пьезооптические измерительные преобразователи. И.Т., 1985, № 11.
81. Смыков И.Т. - Расчет виброконтактных измерительных устройств. И.Т., 1984, № 10.
82. Собкин Б.Л. - Автоматизация проектирования аналого-цифровых приборов на микропроцессорах. М., Машиностроение, 1986.
83. Современное состояние и перспективы развития ультразвуковых приборов для контроля геометрических размеров изделий и механических свойств материалов. Обзорная информация ЦНИИТЭИ приборостроения, 1986, выпуск 7.
84. Сорочкин Б.М., Парушев П.Р. - Уменьшение смещения уровня настройки в фотоэлектрических измерительных преобразователях. И.Т., 1978, № 8.
85. Сорочкин Б.М., Тененбаум Ю.З., Курочкин А.П., Виноградов Ю.Д. - Средства для линейных измерений. Л., Машиностроение, 1978.
86. Срибнер Л.А. - Точность индуктивных преобразователей перемещений. М.Машиностроение, 1975.
87. Ставракиев Ж.А., Туренков В.Н. - Электрически измерительные преобразователи, уреди и устройства. С., Техника, 1984.

88. Тайц Б.А. и др. - Приборостроение и средства автоматики, Справочник, т.1. Взаимозаменяемость и технические измерения. М., Изд-во машиностроительной литературы, 1963.
89. Талалаев Г.А. - Методическая погрешность измерения силы группы параллельно нагруженных датчиков. И.Т., 1980, № 4.
90. Тарасов С.Б., - Повышение виброустойчивости приборов с целью уменьшения влияния вибрации на точность измерений. Метрология, 1975, № 5.
91. Тарбеев Ю.В. - Современное состояние проблемы измерений силы. И.Т., 1984, № 10.
92. Тищенко О.Ф., Валединский А.С. - Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М., Машиностроение, 1977.
93. Троянов Б. - Уреди за измерване на физико-механични величини. С., Печ.база при ВМЕИ "Вл.И.Ленин", 1984.
94. Тюрин Н.И. - Въведение в метрологията. С., Техника, 1978.
95. Техничко-икономическо задание за Държавен първичен еталон за въртящ момент от сила на НМЦ към КК при МС. София, НМЦ към КК, февруари, 1987.
96. Утев Д.И. - Разработване и изследване на оптикоелектронно устройство за измерване на линейни размери. Дипломна теза София, ЦСДК към ВМЕИ "Вл.И.Ленин", 1982.
97. Утев Д.И. - Методика за проверка на динамометрични ключове. Ведомствено издание.
98. Утев Д.И. - Методика за проверка на "Уредба за проверка на динамометрични ключове". Ведомствено издание.
99. Утев Д.И. - Отчетен доклад за командировка в Генералния държавен инспекторат по контрол на качеството в СРР по тема "Създаване на еталонна уредба за възпроизвеждане и измерване на въртящ момент". Тимишоара, СР Румъния, 26-30 октомври 1987.

100. Утев Д.И., Парушев П.Р., Бързаков П.И., Иванов В.А., Бальозов Г.П. - Моментозадаващ механизъм на устройство за формиране и предаване на въртящ момент от сила. Искане за авторско свидетелство на НРБ № 80401/2.07.1987. (Положително решение на ИНРА от м.април 1988 г.)
101. Феликсон Е.И. Упругие элементы силоизмерительных приборов. М., Машиностроение, 1977.
102. Ханзен Ф., Основы общей методики конструирования (Систематизация конструирования). Л., Машиностроение, 1969.
103. Харизоменов И.В. и др. - Бесконтактный контроль размеров в станкостроении (Фотоэлектрический метод), под.ред. Харизоменова И.В., М., Машиностроение, 1975.
104. Харт Х. - Въведение в измервателната техника. С., Техника, 1982.
105. Хофманн Д. - Техника измерений и обеспечение качества. М., Энергоатомиздат, 1983.
106. Цейтлин Я.М., Сорочкин Б.М., Ларионов Б.Г., Баркан И.М. Фотоэлектрические автоматы для контроля размеров. Л., Машиностроение, 1968.
107. Цейтлин Я.М. - Упругие кинематические устройства. Л., Машиностроение, 1972.
108. Цибер А.Л., Ямбиков В.А. - Универсальный прибор для измерения и регистрации моментов трогания и трения шарикоподшипников. И.Т., 1975, № 5.
109. Шпинь А.П. - Принципы построения магнитострикционных преобразователей перемещения. Метрология, 1986, № 6.
110. Щубников К.В., Баранов С.Е., Шнитман Л.И. - Унифицированные переналаживаемые средства измерения, Л., Машиностроение, 1978.

111. Щедровицкий С.С. и др. - Приборостроение и средства автоматизации. т.2, кн.1. Прикладная метрология, методика расчета, детали и элементы приборов. Справочник. М., Машиностроение, 1964.
112. Becker K.P. Frequenz - Spannungs - Wandler zur Demodulation frequenzmodulierter Impulsfolgen. "Techn.Mess.", 1984, 51, No 12.
113. Bühling D. - Keramische Sensoren. "Radio-Fernsehen-Elektron", 1985, 34, No 8.
114. Fintinaru N. - Considerations on the OIML Pre-Draft Recommendation Concerning Metrological Regulation for Load Cells. Al III-lea Simpozion National de Tensometrie cu Participare Internatională, Timișoara, 26 sept.-1 oct. 1983.
115. Fintinaru N. - State Actuel des Machines-Etalon de Force pour L'essai des Cellules de Charge, Al III-lea Simpozion National de Tensometrie cu Participare Internatională, Timișoara, 26 sept. - 1 oct. 1983.
116. Fintinaru N., Matkovits I. - New Devices for the Static Calibration of Force Transducers up to 10 N and for Torque Dynamometers up to 50 N, ACTA IMECO, 1982, pp.173-182.
117. Fusco V.F., Stewart I.A.C. - An integrated X-band microstrip movement sensor and its application in a microprocessor - based alarm system. "I.Phys.E:Sci.Instrum"., 1984, 17, No 5.
118. Gerhardt H.J., Wenzel H. - Optoelektronisches modulares Sensorsystem. "Radio-Fernsehen-Elektron", 1985, 34, No 2.
119. Gevatter H.I., Kuers G. - Wiegand-Sensoren für Weg- und Geschwindigkeitsmessung. "Technisches Messen", 1984, 51, No 4.

120. Hegner F. - Druckaufnehmer in Dünnschichttechnik mit planarer Federstruktur. "Techn.messen", 1985, 52, No 10.
121. Iager G. - Interferenzoptische Kraftsensoren - eine neue Konzeption für die Kraftmessung Wägetechnik. "Techn.messen", 1985, 52, No 9.
122. Ianocha H. - Ein rechnergestütztes Tastsystem für die Koordinatenmesstechnik. "Feinwerktechn. und Messtechn. 1985, 93, No 8.
123. Kochsiek M. - The mass unit "Kilogram", precision measurement of mass, attainable uncertainties, and possibilities of a new definition. "U.S.Dep.Commer. Nat. Bur. Stand. Spec. Publ.". 1984, No 617.
124. Kühnel K. - Meßwertglättung durch stenerbares Digitalfilter. "Radio-Fernsehen-Elektron", 1985, 34, No 3.
125. Lambert V., Fintînaru N. - Deadweight Standart Machines for Static Torque Moment Reproduction, Bulletin OIML No 89 - decembre 1982, pp. 14.
126. Lambert V., Fintînaru N. - Deadweight Standart Machines ^{the} for Static Calibration of Torque - Transducers. Al III-lea Simpozion National de Tenzometric cu Participare Internatională, Timişoara, 26 sept. - 1 oct., 1983.
127. Loewen V.D. - Vanable capacitance load cell. "Sensois and Syst. Conf. Pios., Chicago, III, 8-10 jun, 1982, vol. 1, Buckingham, 1982.
128. Milnikel R., Wollenberg R. - Auswertelogik für inkrementale Wegmeßsysteme., "Elektronik", 1985, 34, No 1.
129. Morris H.M. - Reliable position sensing a must for advanced aumation techniques "Contr.Eng.", 1984, 31, No 11.
130. Neumeyer I., - Kapazitives Meßwert^ßaufnehmersystem zur Messung von Längenänderungen., 1984, 33, No 11.

ПРИЛОЖЕНИЯ ЗА ВНЕДРЯВАНЕ

СЪДЪРЖАНИЕ НА ПРИЛОЖЕНИЯТА

1. Авторски свидетелства и актове за внедряване, свързани с проблемите на разработката.	2
2. Методика за метрологична атестация и проверка на "Уредба за проверка на динамометрични ключове".	11
3. Методика за проверка на динамометрични ключове.	20
4. Резултати от деформационни изчисления на ЕДИМП (пръстен), извършени на ЕИМ чрез прилагане на програма "VIMKE".	24
5. Резултати от деформационни изчисления на ЕРФЕ (диско-лост) и стойка, извършени на ЕИМ чрез прилагане на програма "VIMKE".	29
6. Монтажна схема на еталонния комплекс на ниво "основни групи".	45
7. Протокол от ТИС на НМЦ № 12 от 14.12.1988 г.	46
8. Отзив от НМЦ, относно внедрени и научно-приложни разработки, свързани с темата на дисертацията.	47

П-1. АВТОРСКИ СВИДЕТЕЛСТВА И АКТОВЕ ЗА
ВНЕДРЯВАНЕ, СВЪРЗАНИ С ПРОБЛЕМИТЕ
НА РАЗРАБОТКАТА



ИНСТИТУТ ЗА ИЗОБРЕТЕНИЯ И РАЦИОНАЛИЗАЦИИ

авторско свидетелство

№ 34706 МПК 01 В 11/16

На основание чл.22 от Закона за изобретенията и рационализациите Институтът за изобретения и рационализации на НРБ издава това авторско свидетелство на **Димитър Иванов Утев** от гр. Плевен и к-в

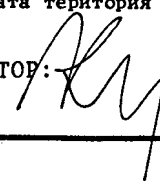
за изобретението **ПРУЖИННО-ОПТИЧЕН МЕХАНИЗЪМ**

съгласно приложеното описание и чертежи с приоритет от **24.02. 1982** год.

увател:

Вписано в държавния регистър на заявките за изобретения рег.№ **55538 /1982** год. Действието на авторското свидетелство се разпростира по цялата територия на НРБ.

8.05.1984 год.

ГЕНЕРАЛЕН ДИРЕКТОР: 



ИНСТИТУТ ЗА ИЗОБРЕТЕНИЯ И РАЦИОНАЛИЗАЦИИ

авторско свидетелство

№ 34707 МПК G 01 B 11/16

На основание чл.22 от Закона за изобретенията и рационализациите Институтът за изобретения и рационализации на НРБ издава това авторско свидетелство на **Димитър Иванов Утѐв** от **Плевен и К-В**

за изобретението **ПРУЖИННО-ОПТИЧЕН МЕХАНИЗЪМ**

власно приложеното описание и чертежи с приоритет от **24.02. 1982** год.
изобретател:

Вписано в държавния регистър на заявките за изобретения рег.№ 55589 /1982 год. Действието на авторското свидетелство се разпростира по цялата територия на НРБ.

09.10.84 год.

ГЕНЕРАЛЕН ДИРЕКТОР:

А К Т

1-749-в

за внедряване на изобретение или рационализация

Даденото предложение № 55539 относно Пружинно-оптичен механизъм
 Авторско свидетелство на НРБ № 34707/09.10.1984

на Паруш Райков Парушев

Димитър Иванов Утев

след проведеното изпитание признато за годно и от 18 декември 1986
 научно-изследователската дейност на ИМБМ - БАН

е внедрено в производството на участък (вс)

На основание заповед № от е променена:

а) технологията (конструкцията) от 19 г.

б) разходната норма на материали или енергия от 19 г.

в) нормата за време и разценката от 19 г.

Отговорността по използването на предложението е възложено на Паруш Райков

П А Р У Ш Е В

на длъжност СТ.Н.С. който е задължен в случай на прекратяване на
 използване на предложението да извести писмено зам. директора по Технически въпроси
 (бюрото) за изобретения и рационализации в срок от 5 дни

Отговорник по използването:

Бранков
 (подпис)

ЗАКЛУЧЕНИЕ НА ПАРУШЕВ
 ИЗДАВАЩА СЕ

За началото на промишленото използване на предложението ми е съобщено на 1986 г.

Подпис на автора (съавтора) *Бранков* 16 г.



ИНСТИТУТ ЗА ИЗОБРЕТЕНИЯ И РАЦИОНАЛИЗАЦИИ

авторско свидетелство

№ 34712 МПК G 01 L 1/04

На основание чл.22 от Закона за изобретенията и рационализациите Институтът за изобретения и рационализации на НРБ издава това авторско свидетелство на Димитър Иванов Утев от Плевен и Паруш Райков Парушев от София

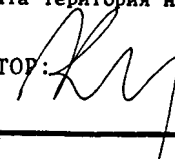
за изобретението МЕТОД И УСТРОЙСТВО ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА СИЛИ

Внесено приложеното описание и чертежи с приоритет от 24.02. 19 82 год.

ател:

Вписано в държавния регистър на заявките за изобретения рег.№ 55537 /1982 год. Действието на авторското свидетелство се разпростира по цялата територия на НРБ.

София, 2 84 год.

ГЕНЕРАЛЕН ДИРЕКТОР: 

I-749-B

А К Т

за внедряване на изобретение или рационализация

Даденото предложение № 55537 относно Метод и устройство за измерване на сили. Авторско свидетелство на НРБ №34712/23.05.1984

на Паруш Райков Парушев

Димитър Иванов Утов

след проведеното изпитание, признато за годно и от 18 декември 1986

е внедрено в научно-изследователската дейност на ИМБМ - БАН

На основание заповед № от е променена:

а) технологията (конструкцията) от 19 г.

б) разходната норма на материали или енергия от 19 г.

в) нормата за време и разценката от 19 г.

Отговорността по използването на предложението е възложено на Паруш Райков

ПАНУШЕВ

на длъжност СТ. Н. С. който е задължен в случай на явяване на използване на предложението да извести писмено зам. директора по ТВ (бюрото) за изобретения и рационализации в срок от 5 дни.

Отговорник по използването: *Абай*
(подпис)

Законноупълномощен
Директор
Иванков/

За началото на промишленото използуване на предложението ми е съобщено на 198 г.

Подпис на автора (съавтора):

2059/81 140.000 ДС 0.03 лв.

16 Т-



ИИРА

ИНСТИТУТ ЗА ИЗОБРЕТЕНИЯ И РАЦИОНАЛИЗАЦИИ

1156 СОФИЯ БУЛ. Г. А. НАСЪР 52 6 ТЕЛ. 7 12 91 ТЕЛЕКС 23412

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Издава се на Димитър Иванов Утев.....
 в уверение на това, че е съавтор.....на изобретението Устройс-
тво за проверка на динамометрични ключове.....

 с регистров № 71564 за което ще бъде издадено авторско свидетелство
40441
 и на основание чл.69 от Закона за изобретенията и рационализациите
 получава званието

ИЗОБРЕТАТЕЛ

ползвайки се с правата и облагите, дадени от Закона и Правилника за
 приложението му.

София, 25 ноември 87
19... год.

ГЕНЕРАЛЕН ДИРЕКТОР:



/к. н. инж. К. Илиев/

КОМИТЕТ ПО КАЧЕСТВОТО КЪМ ИС

1-749-6

(наименование на соц. организация)

ЗАПОВЕД
АКТ ЗА ВНЕДРЯВАНЕ
 № **13**

София, 20.12 19 86 год.

На основание протокол № 10 от 18.12 19 86 год. на ТИС при
решение **НМЦ към Комитета по качеството**

НАРЕЖДАМ

А. ☐ да се внедри изобретение № 71564
(изобретение, рационализация, икономически ефект, предложение) (государственный реестр)
27.08.1985 на Димитър Утев-от РДСМКК Плевен и Паруш Парушев-БАН -
(инженер) (име, презиме, фамилия на авторите) **СОФИЯ**
 относно: устройство за проверка на динамометрични ключове
(наименование)

в направление "Механични изчерпания" към РДСМКК Плевен 10.11.86 год.
(подразделение, цех, участък, здание)

Б. ☐ да се измени конструктивната документация: срок 19 год.
 Отговорник:

В. ☐ да се измени технологичната документация: срок 19 год.
 Отговорник:

Г. ☐ да се измени проектно-сметната документация: срок 19 год.
 Отговорник:

Д. ☐ да се изменят трудовите норми: срок 19 год.
 Отговорник:

Е. ☐ да се изменят разходните норми за материали или енергия и др.: срок 19 год.
 Отговорник:

За отговорник по внедряването определям: Димитър Утев- РДСМКК Плевен

За отговорник по използването на резултатите от внедряването определям: Тодор Нешев
СТОЯНОВ

, който в случай на нестиврирано прекратяване на използването да извести писмено БРИЗ и заместник директора по ТВ в организацията ни

Препис от настоящата заповед да се връчи на отговорните лица.

Необходимото се означава със знака ☒

ДИРЕКТОР:



ИНРА

ИНСТИТУТ ЗА ИЗОБРЕТЕНИЯ И РАЦИОНАЛИЗАЦИИ

1156 СОФИЯ БУЛ. Г. А. НАСЪР 52 6 ТЕЛЕКС 23412 ИНРА ТЕЛ. 71291

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Издава се на.....**Димитар Иванов Утев**.....
 в уверение на това, че е..**сЪавтор**.....на изобретението.....
Моментозадаващ механизъм.....

 с регистров №**80401**.....за което е.....издадено авторско свидетелство №**44333**
 и на основание чл.69 от Закона за изобретенията и рационализациите получава званието

ИЗОБРЕТАТЕЛ

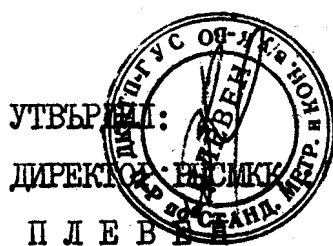
ползвайки се с правата и облагите дадени от Закона и Правилника за приложението му.

София, **03.11**.....1988 год.

ГЕНЕРАЛЕН ДИРЕКТОР:

[Handwritten signature]

инж. Кр. Илиев /



УТВЪРДИ:

ДИРЕКТОР РЦСМКК

ПЛЕВЕН

СЪГЛАСУВАЛ:

ГЛ. СПЕЦИАЛИСТ "НМЦ"

ГЛ. СПЕЦИАЛИСТ РЦСМКК



М Е Т О Д И К А

за метрологична атестация и проверка на
"УРЕДБА ЗА ПРОВЕРКА НА ДИНАМОМЕТРИЧНИ КЛЮЧОВЕ"

Методиката определя начините за определяне на метрологичните показатели и проверка на "УРЕДБА ЗА ПРОВЕРКА НА ДИНАМОМЕТРИЧНИ КЛЮЧОВЕ" /УЦДК/ с работен обхват от $0 \div 20 \text{ кгс}\cdot\text{м} / 0 \div 200 \text{ н.м} /$ и дискретен отчет $0,1 \text{ кгс}\cdot\text{м} / 1 \text{ н.м} /$.

1. ПРОВЕРОЧНИ ОПЕРАЦИИ

1.1. Външен оглед на УЦДК и допълнителните приспособления за проверка на УЦДК.

1.2. Проверка на допълнителните приспособления

1.3. Проверка на УЦДК

1.3.1. Определяне чувствителността

1.3.2. Определяне грешката на измерване.

2. СРЕДСТВА ЗА ПРОВЕРКА

- образцов прихов метър 3-ти разряд с нанесени деления до 120 мм
- дълбокомер или шублер с дълбокомер с обхват $\leq 100 \text{ мм}$ и стойност на деление $\leq 0,1 \text{ мм}$.

- 2 -

- специална атестационна шанга *
- моментозадаващ двураменен контролен лост **
- образцови теглилки:
 - до 10 кг разряд
 - до 50 кг разряд
- нивелир
- подвижна скала
- трасажна маса или равна стабилна повърхност с дължина не по-малка от 1300 мм.

3. УСЛОВИЯ ЗА ПРОВЕРКА

При извършване на проверката трябва да се спазват следните условия:

- липса на вибрации
- температура на въздуха - $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- уредбата да е подготвена за работа съгласно ръководството / т. 5.1.1; 5.1.2; 5.1.3/ *за работа с УПДК.*

4. ИЗВЪРШВАНЕ НА ПРОВЕРКАТА

4.1. Външен оглед - необходимо е да се провери следното:

4.1.1. Допълнителни приспособления

Проверява се за наличие на линейни деформации, усуквания и корозия по работните повърхнини, като се обърне внимание на тези които вземат пряко участие в процеса на проверката

Задължително се проверява за наличие на следните дефекти по:

4.1.1.1. шангата

непаралелност между водача и ръбовете на призмите побитости и корозия по призмите и цилиндричните повърхности на водача

затягане на винтовите съединения.

4.1.1.2. Контролен лост

- побитости и корозия по квадрата за закрепване към УПДК
- побитости и корозия по фиксиращите прорези на рамената
- затягане на всички винтови съединения

За краткост по-нататък в текста:

* - шанга

** - контролен лост

4.1.2. Уредба за проверка на динамометрични ключове.

Проверява се за наличие на дефекти и корозия по отделните възли и механизми като се обръща особено внимание на тяхната работоспособност.

Задължително се проверява:

4.1.2.1. Сигурността на закрепване на въжетата към моментозадаващия диск*, противотежестта и блюдото, а така също за наличие на скъсани нишки по въжетата.

4.1.2.2. Наличието на люфт между захвата на квадрата и оста на диска както и за наличие на пукнатини по челюстите.

4.1.2.3. Затягане на всички винтови съединения.

4.2. ПРОВЕРКА НА ДОПЪЛНИТЕЛНИТЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

4.2.1. Проверка на щангата

4.2.1.1. Проверка на разстоянията между центъра на водача 1/фиг.1/ и върховете на призмите 2 и 3 в първо и второ положение /завъртани на 180° спрямо първоначалното положение/ - e_1, e_2

За целта щангата се поставя и фиксира върху трасажна маса или равна, стабилна повърхност с помощта на опори 4,5,7,8 с височина — "а", "с-а"; "с"; "в" - фиг.1

Върху допълнителните опори 6 с височина "с-а" се поставя образцов метър 10 с помощта на които се проверяват разстоянията между центъра на водача 1 и призмите 2 и 3 за първо положение /фиг.1/

Проверката при второ положение на призмите се извършва по аналогичен начин.

Размерът "с" се определя по формулата:

$$c = a + \frac{\phi D}{2} \quad (1)$$

където

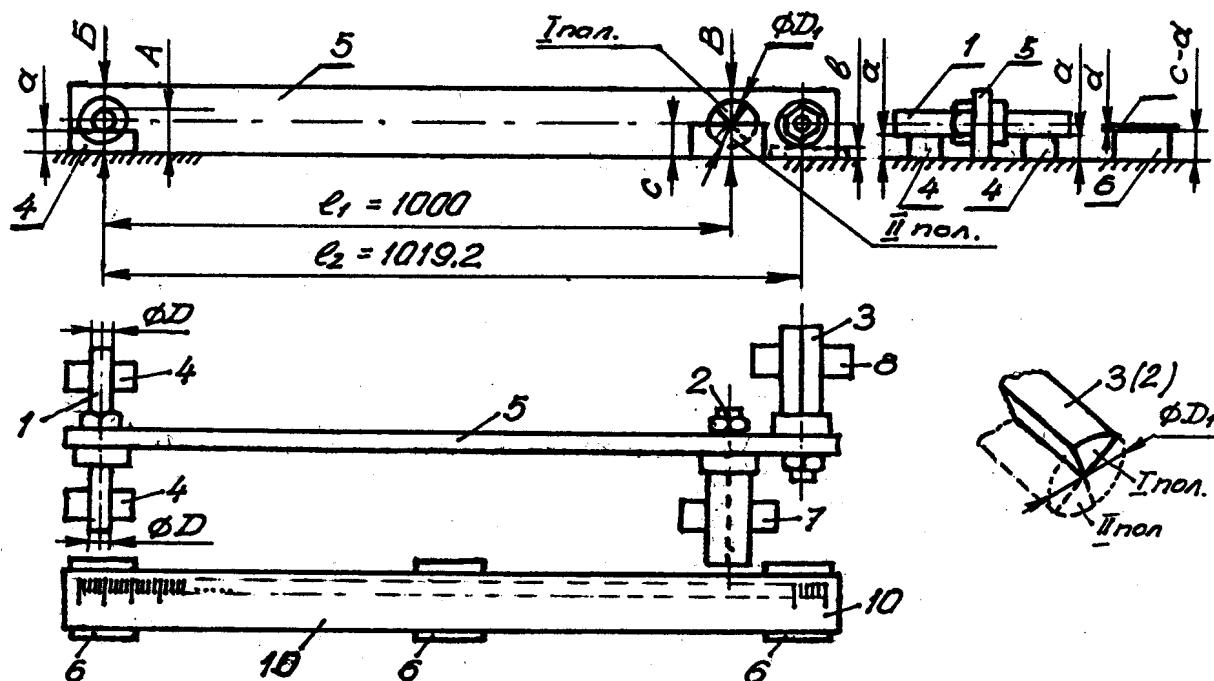
a - размер на опорите поставени под водача

ϕD - диаметър на водача

Допустимо отклонение за e_1 и $e_2 \leq 0,1$ мм.

Разлика между отделните разстояния измерени в първо и второ положение $\leq 0,1$ мм.

* За краткост по-нататък в текста — диск.



Фиг. 1.

Забележка: Положението на призмите се подбира така, че ъглополовящата на техния ъгъл да е приблизително перпендикулярна на линията на симетрия на шангата.

4.2.1.2. Проверка на отклонението от паралелност на линията свързваща центъра на водача и ръбовете на призмите спрямо тесните страни на шангата.

Проверката се извършва при положение на шангата съгласно фиг. 1 в следния ред:

– измерват се разстоянията А, Б и В в показаните точки с точност до 0,1 мм.

– изчислява се отклонението от паралелност "к" по формулата:
/фиг. 1/

$$K = A - \frac{\phi D - 2C}{2} - (B - B) \quad (2)$$

за която при $C = \alpha + \frac{\phi D}{2}$ (1) след заместване получаваме:

$$K = A - \alpha - (B - B) \quad (2a)$$

В този ред се проверява отклонението от паралелност за всяка призма при първо и второ положение /фиг. 1/ т.е. K_1 ; K_2 ; K_3 ; K_4 .

Допустимо отклонение за всяко значение на "К" не по-голямо от 0,2 мм.

- 5 -

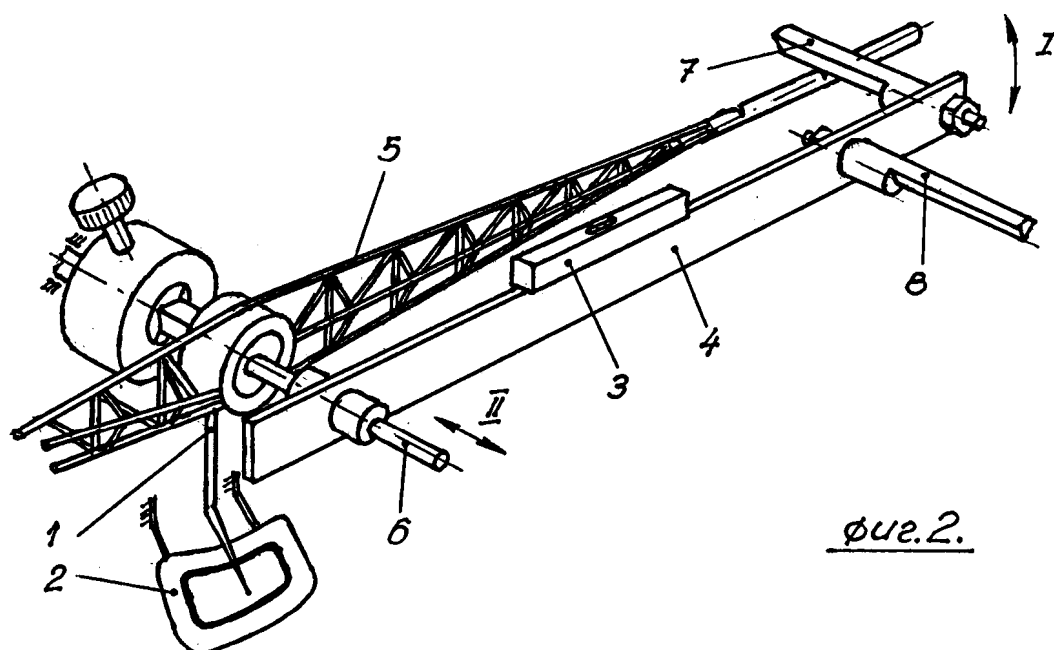
4.2.2. Проверка на контролния лост

4.2.2.1. Отклонения в дължините на рамената.

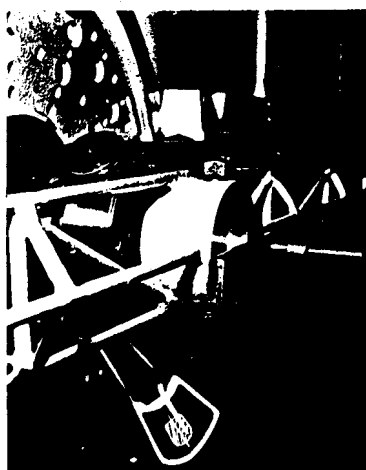
Проверката се осъществява с помощта на атестационната щанга.

За целта:

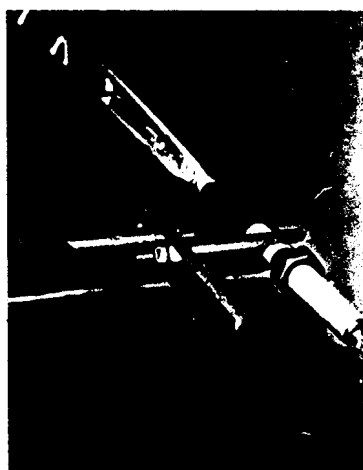
- лостът се закрепва към диска чрез захвата.
- дискът се застопорява в приблизително хоризонтално положение на лоста.
- водачът 1 /фиг.1/ се вкарва в отвора намиращ се в тилната част на квадрата и цялата щанга внимателно се отпуска до опиране на съответната призма върху лоста - фиг. 2 и фиг. 3.



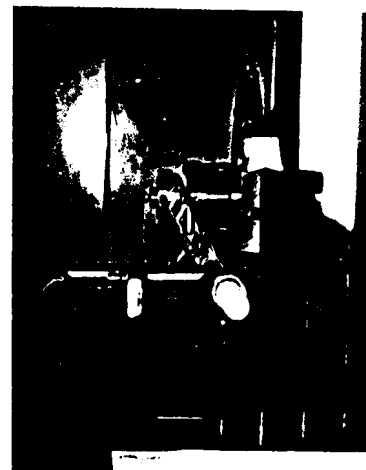
фиг. 2.



а)



б)



в)

фиг. 3

- 6 -

Проверява се визуално отклонението ^{между} върха на призмения канал нанесен върху лоста и върха на призмата.

Останалите три канала се проверяват по аналогичен начин със съответно последователно преобръщане на щангата и призмите на 180° /първо и второ положение на призмите - фиг. 1/

Допустимо отклонение на дължините $\leq 0,2$ мм при визуален отчет.

Забележка: Водачът на щангата да се изважда от отвора на лоста /движение фиг.2/ само след отделяне на призмата от канала на лоста /движение I - фиг. 2/

4.2.2.2. Взаимно разположение на подвижната скала закрепена към предната конзола на уредбата и стрелката на контролния лост. - /фиг. 2/

За целта:

- върху щангата 4 се поставя нивелир 3 - при отстопорен диск.
- системата нивелир - щанга - лост се хоризонтира по нивелира и се фиксира положението на стрелката спрямо скалата. В същата последователност се извършва проверката и за останалите три рамена на лоста.

Забележка: Проверката по т. 4.2.2.2. се извършва след проверка на уредбата по т. 4.3.1.

4.3. Проверка на уредбата

4.3.1. Нивелиране

4.3.1.1. За проверка в надлъжно направление върху предната конзола откъм захвата на квадрата се поставя нивелир, като се следи неговото показание. При необходимост положението на уредбата се регулира посредством винтовите крака.

4.3.1.2. В напречно направление проверката се извършва без нивелир, като за целта се използват въжетата за които са окачени блюдото и противотежестта. Следи се те да не опират в страничните стени на каналите на диска при окачени блюдо и противотежест.

4.3.2. Чувствителност

4.3.2.1. В ненатоварено състояние оценката на този параметър се осъществява без използването на допълнителните приспособления за проверка в следната последователност:

- проверка на равновесното положение на системата противотежест - моментозадаващ диск - блюдо в 3 - 4 положения на диска.

Забележка: При тази проверка се следи да няма допир между водещите пръстени на бюдото и водачите на стойката.

- след пълно успокояване на системата /при различни положения на диска/ върху бюдото или противотежестта се поставят образцови теглилки до извеждане на системата от равновесие.

Чувствителността $\delta M_{св}$ се определя от израза:

$$\delta M_{св} = \delta P \cdot R_1(R_2) \quad (3)$$

където:

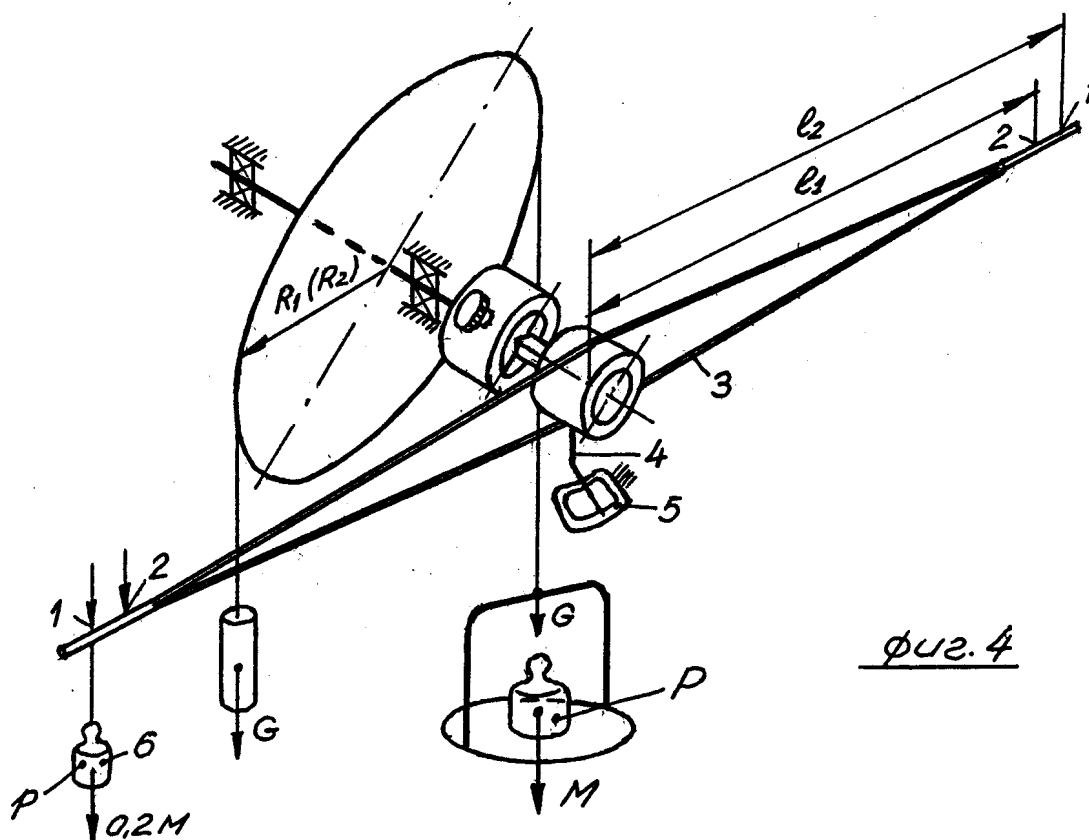
$\delta M_{св}$ - чувствителност на системата в $кгс \cdot м$ или $Н \cdot м$.
в ненатоварено състояние.

δP - стойност на образцовите теглилки извеждащи системата от равновесие.

$R_1(R_2)$ - радиуси на моментозадаващия диск в $м$ / $R_1 \approx 0,2 м$
 $R_2 \approx 0,2038 м$

Ориентировъчна стойност за $\delta M_{св} \leq 0,01 кгс \cdot м$
 $\leq 0,1 Н \cdot м$.

4.3.2.2. В натоварено състояние.



Последователността на операциите е следната:

- закрепва се измерителния лост към диска посредством захвата и се поставя в приблизително хоризонтално положение.

- проверява се равновесното положение на лоста, като при необходимост се регулира с помощта на гайките.

- дискът се застопорява

- натоварва се лостът в едното рамо с теглилка P (6) фиг. 4. в точки 1 или 2 в зависимост от канала в които са вкарани въжетата на блюдото и противотежестта /за измерване в кгс·м или н.м/

- уравновесява се системата с поставяне на теглилки P върху блюдото и дискът се освобождава.

Ориентировъчно $P \approx 5p$

- лостът се привежда в хоризонтално положение ръчно като се следи стрелката да попадне върху съответната точка от скалата определена в т. 4.2.2.2.

- след пълното успокояване на системата се определя чувствителността δM_H по начин аналогичен на описания в т. 4.3.2.1.

Ориентировъчна стойност за $\delta M_H \leq 0,015 \text{ кгс} \cdot \text{м}.$
 $\leq 0,15 \text{ н.м}.$

4.3.3. Определяне грешката на измерване $\delta M_{1(2)} - \text{фиг. 4.}$

Този показател е основен за уредбата. Той определя нейните метрологични параметри и работоспособност.

В случая се проверява правилността на задавания образец въртящ момент посредством диска от теглилките P поставени върху блюдото. При съотношение $P=5p$ грешката на измерване се определя паралелно с определянето на чувствителността по т. 4.3.2.2.

Забележка: При проверката уредбата се натоварва с

$$M_{\text{макс}} = 10 \text{ кгс} \cdot \text{м} ; 100 \text{ н.м}.$$

За целта:

- проверява се равновесното положение на лоста в ненатоварено състояние

- същия се хоризонтира в натоварено положение посредством добавяне или отнемане на допълнителни теглилки към него или блюдото.

- при всяко натоварване се извършват по 3 отчета посредством принудително извеждане на системата от равновесие с последващо изчисляване на средната стойност.

Уредбата се проверява и по двата начина, след което получените резултати се сравняват.

За основна грешка на уредбата в дадената точка се приема по-голямата получена стойност.

- 9 -

При определяне грешката на измерване се използват изразите

4.3.3.1. При добавяне или отнемане на образцови теглилки към лоста. $\delta M_1 = (p \pm \Delta p)[l_2(l_1) \pm \Delta l_2(\Delta l_1)] - P[R_{1(2)} \pm \Delta R_{1(2)}]$ кгс.м; н.м. (4)

където: Δp маса на допълнителните теглилки поставени върху лоста

P - маса на теглилките поставени върху бюдото с оглед на съотношението $P = 5p$

p - маса на теглилките закачени към лоста

$l_2(l_1)$ - рамената на лоста

$\Delta R_{1(2)}$ - действителна грешка в размерите на радиусите на диска, която може да се определи по тази формула

$\Delta l_2(\Delta l_1)$ грешка в рамената определена по т 4.2.2.1.

4.3.3.2. При добавяне или отнемане на образцови теглилки върху бюдото

$$\delta M_2 = (P \pm \Delta P)[R_{1(2)} \pm \Delta R_{1(2)}] - p[l_2(l_1) \pm \Delta l_2(\Delta l_1)] \text{ кгс.м; н.м. (5)}$$

където:

ΔP - маса на допълнителните теглилки поставени върху бюдота.

Ориентировъчна стойност за $\delta M_{1(2)}$

$$\delta M_{1(2)} \leq 0,02 \text{ кгс.м} ; \leq 0,2 \text{ н.м.}$$

ИЗГОТВИЛ МЕТОДИКАТА:

/инж.Д.Утев/

П о м о щ н и м а т е р и а л и

1.Ръководство за работа с уредба за проверка на динамометрични ключове.

2.Методика за проверка на динамометрични ключове.

УТВЪРДИ:

ДИРЕКТОР РЦСМК

ПЛЕВЕН



СЪГЛАСУВАЛ:

ГЛ. СПЕЦИАЛИСТ "НМЦ"

ГЛ. СПЕЦИАЛИСТ РЦСМК



М Е Т О Д И К А

за проверка на динамометрични ключове

Методиката определя начините за проверка на нови, ремонтирани и намиращи се в експлоатация динамометрични ключове за дозавиване с определен момент на болтове и гайки с лява и дясна резба с помощта на нормализирани сменяеми накрайници.

1. ПРОВЕРОЧНИ ОПЕРАЦИИ

1.1. Външен оглед

1.2. Определяне на грешката

2. СРЕДСТВА ЗА ПРОВЕРКА

Проверката се извършва с помощта на уредба за проверка на динамометрични ключове.

3. УСЛОВИЯ ЗА ПРОВЕРКАТА

При извършване на проверката трябва да се спазват следните условия:

- температура на въздуха $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- липса на вибрации влияещи върху показанията на уредбата и ключа.
- динамометричните ключове да са подготвени за работа съгласно инструкцията на завода производител.

- 2 -

4. ИЗВЪРШВАНЕ НА ПРОВЕРКАТА

4.1. Външен оглед

4.1.1. Състояние на работната част на ключа /квадрата/ - наличие на побитости, корозия и други дефекти.

4.1.2. Наличие върху ключа на следните данни:

- наименование или знак на производителя
- тип
- фабричен номер
- година на производство

4.2. Проверка

Проверката се осъществява посредством специално разработена за целта уредба съгласно указанията за работа с нея по следните два метода.

4.2.1. Проверка при закрепен за уредбата ключ /статично/ със стойност на деление $\geq 1 \text{ кг} \cdot \text{м} ; 10 \text{ н} \cdot \text{м}$

4.2.1.1. В зависимост от вида на измервания от динамометричния ключ въртящ момент / $\text{кг} \cdot \text{м}$ или нм / уредбата се подготвя за съответния вид измерване. Моментозадаващия диск е застопорен.

4.2.1.2. Ключът се закрепва за работната си част /квадрата/ към уредбата посредством захвата. В зависимост от посоката на задавания въртящ момент под дръжката на ключа се закрепва подвижен упор съответно в лявата или дясна половина на предната конзола.

4.2.1.3. Окачването на бюдото в лявата или дясна спрямо центъра на колелото страна се определя от посоката на задавания образцов въртящ момент.

4.2.1.4. Моментозадаващия диск се отстопорява.

4.2.1.5. Задава се образцов въртящ момент посредством теглилки Р поставени върху бюдото. Стойността на теглилките се подбира съгласно отношението:

$$P = 5p$$

където:

P - стойност на сила в кг, която създава въртящ момент при рамо с дължина съответно на:

- 1000 мм - за измерване в $\text{кг} \cdot \text{м}$
- 1019,2 - за измерване в $\text{н} \cdot \text{м}$

След сравняване на показанията отчетени по скалата на ключа и зададения образцов въртящ момент се дава оценка за годност или негодност съгласно: л. 4.2.5.

- 3 -

4.2.2. Проверка на ключа в работно положение /динамично/ със стойност на деление $\geq 1 \text{ кгс.м; } 1 \text{ н.м.}$

Тази проверка се извършва в случая

- за сравняване на резултатите между статично и динамично натоварване.

- за повишаване производителността на проверките при голяма партида ключове.

- в случай че ключът не може да бъде закрепен към уредбата съгласно т. 4.2.1.2. по конструктивни причини непозволяващи постигането на висока точност на измерване и безопасност при работа.

4.2.2.1. - Изпълнява се т. 4.2.1.1.

4.2.2.2. - Закрепва се ключа към уредбата съгласно т. 4.2.1.2. без завиване на упор.

4.2.2.3. Моментозадаващия диск не се отстопорява.

4.2.2.4. Изпълнява се т. 4.2.1.3.

4.2.2.5. Изпълнява се т. 4.2.1.5.

4.2.2.6. Въздейства се ръчно върху дръжката на ключа до леко мръдване на моментозадаващия диск в границите на луфта между застопоряващия шифт и отвода в колелото. В този момент се отчита показанието на отчетното устройство на ключа.

Забележка: Допуска се вместо застопоряване на диска да се използва стабилна неподвижна опора под блюдото. В този случай при проверка върху ключа се въздейства до отделяне на блюдото от опората.

ВНИМАНИЕ: С цел изключване на злополуки спазването на т. 4.2.2.3. или използването на неподвижна опора под блюдото е задължително!

4.2.3. Проверка на динамометрични ключове със стойност на деление $< 1 \text{ кгс.м; } < 10 \text{ н.м}$

Проверката се извършва по един от двата начина регламентирани в т. 4.2.1 и т. 4.2.2.

С цел повишаване точността на задавания образцов въртящ момент, е необходимо в процеса на измерване да се следи за допир между водещите пръстени на блюдото и водачите на стойката.

Отстраняването на евентуален допир става посредством завъртане на ръкохватката на блюдото към която е закрепено въжето.

4.2.5. Оценка на получените резултати.

Независимо по кой от двата начина се осъществява проверката, за годността на динамометричния ключ се следи след сравняване показанията

на неговото отчетно устройство и действителната стойност на зададения образцов въртящ момент.

За всяка точка от скалата се извършват по три измервания.

Броят на точките се избира от 3 ÷ 5 равномерно разположени по цялата скала на ключа.

Грешката за всяка проверявана точка от скалата се определя по формулата:

$$\delta = \frac{M_{д.ср.} - M_{ном.}}{M_{макс}} \cdot 100\% = \frac{\Delta_{абс}}{M_{макс}} \cdot 100\%$$

където;

δ - грешка на ключа

Δ - абсолютна грешка в Н·м/н.м/

$$M_{д.ср.} = \frac{M_{д1} + M_{д2} + M_{д3}}{3}$$

$M_{д1}-д3$ - стойности на дискретни отчети за една точка от скалата.

$M_{ном}$ - номинална стойност на въртящия момент според точката от скалата като се отчита грешката на уредбата.

$M_{макс}$ - максимална стойност на въртящия момент за проверяваната скала.

Изчислената грешка по целия обхват не трябва да превишава посочената такава в техническия паспорт на динамометричния ключ или обозначената върху самия него.

В случаите когато не са налице данни, за максимално допустима грешка на измерване да се счита стойността на едно скално деление, като съответно това условие да се фиксира в издавания документ за годност /негодност/.

ИЗГОТВИЛ МЕТОДИКАТА:

/инж. Д. Утев/

П о м о щ н и м а т е р и а л и

1. Методика за метрологична втестация и проверка на "УРЕДБА ЗА ПРОВЕРКА НА ДИНАМОМЕТРИЧНИ КЛЮЧОВЕ".
2. Ръководство за работа с уредба за проверка на динамометрични ключове.

Резултати от деформационни изчисления на
ЕДИМП (пръстен), извършени на ЕИМ чрез
прилагане на програма "VIMKE"

***** VIMKE

Welcome to VAX/VMS version V4.4
Last interactive login on Monday, 11-JUL-1988 15:40
Last non-interactive login on Monday, 11-JUL-1988 15:16

```
* 30M
* TYPE P01A.VLR
1  CIMEK  TECTOB P01A.VLR
2  CDEKT  P01A.VLR
3  TID  P01A.VLR
4  KODI  M.TODOPCE.VLR
5  EDIN  CILA='N' SPENE='S' dnlv='MM'
6  PECTAT SCI'KO 1
7  KPAJ1
8  TOPCLOSI1
9  ELEM 241 TID='SRJH' ELEM 11241
10 XAPA 1 ELEM 11241
11 TAB1 ELEM Bx11/ 1124 122 222 412 3121
12 KPAJ1
13 SEOM1
14 KODP  cilind1
15 1431 Bx11 KODP/ 112512 39.75 -9015/212612 39.75 -9015 12
16 2713712 39.75 -15115 0/2813912 39.75 -15115 12/
17 3914912 39.75 6515 0 /4015012 39.75 6515 12
18 7 39.75 -76 0/8 39.75 -76 12/
19 KPAJ1
20 XAPA 1
21 SPYPA 1 TID 3 RHO=1 E 3E5 MY 0.3 D 0.5/
22 KPAJ1
23 ZAKP 1
24 C1Y 1 'HEP00B10VHI Bx11 7/8 CINETP1a 1 2,49 50'
25 VK=0 K=1 Bx11=1 2 49 50 7 8/
26 VK=0 K=2 Bx11=7 8/
27 VK=0 K=3 Bx11=7 8/
28 VK=0 K=5 Bx11=1 2 49 50/
29 VK=0 K=6 Bx11=1 2 49 50/
30 KPAJ1
31 HATO 1
32 C1Y 1 'BEPTIKAIHA CILA 1 30PE Bx11 49 50'
33 F 'FY' -0.5 Bx11 49 50/
34 C1Y 2 'BEPTIKAIHA CILA 1 30LY Bx11 1 2'
35 F 'FY' 0.5 Bx11 1 2/
```

```
36 KPAJ1
37 PEKE 1
38 STAT1
39 ZAKP 1 HATO 1 2/
40 PEZY 1 'CILA 30PE'
41 KODP 1/
42 PECTAT PPEM Bx11 1 2 29 30 49 50/
43 PEZY 2 'CILA 30LY'
44 KODP 2/
45 PECTAT PPEM Bx11 1 2 29 30 49 50/
46 KPAJ1
47 ****
*****
* rechenie 1
*****
resultati 1
```

Изчисленията са извършени на пръстена на силите и напрежения (резултати от изчисленията)

Обобщени резултати

U	-0.25565E-03	5	0.27969	29
V	-0.56294	42	0.26766E-02	3
W	-0.85852E-04	30	0.85852E-04	29
FIX	-0.16605E-02	6	0.16605E-02	7
FIY	-0.47082E-03	8	0.47082E-03	7
FIZ	-0.10476E-01	19	0.11077E-01	30

rezultati 1

Ekstremni stojnosti na premetstvanja uuzlow sili i naprevenia (razrezni usilia)

Uobobteni premetstvanja

U	-0.25585E-03	5	0.27989	28
V	-0.54294	49	0.26788E-02	3
W	-0.85852E-04	30	0.85852E-04	29
FIX	-0.16605E-02	8	0.16605E-02	7
FIY	-0.47082E-03	8	0.47082E-03	7
FIZ	-0.10476E-01	19	0.11077E-01	35

Uobobteni sili

Obob.	sila	minimalno	uuzel	maksimalno	uuzel
FX		-8.7479	8	8.7334	2
FY		-0.50028	49	0.49999	7
FZ		-6.7891	8	6.7891	7
MX		-0.83269E-02	37	0.53015E-02	25
MY		-14.147	2	14.147	1
MZ		-11.866	49	0.82302E-03	45

naprevenia (razrezni usilia)

naprevenie (P.O.)	minimalno	element	maksimalno	element
SIGXs	-7.6203	15	4.9823	23
SIGYs	-28.012	15	49.163	24
TAUXYs	-19.947	3	19.947	3
TXCP	-0.46458E-13	21	0.43332E-13	23
TXCF	-0.12981	7	0.63248	3
SIGXd	-5.4651	24	6.0741	15
SIGYd	-57.763	3	30.215	15
TAUXYd	-10.607	3	10.607	3
SIGMAXs	-7.6203	15	49.163	24
SIGNHS	-28.012	15	4.9823	23
ALFAs	0.00000E+00	10	179.06	15
SIGMAXd	-5.3154	24	30.213	15
SIGNHD	-59.695	3	6.0741	15
ALFAd	0.00000E+00	1	179.54	22
SIGS	0.71483	18	59.927	3
KS	0.00000E+00	1	0.00000E+00	1

OBBOBTENI SPEMETSTVANIA

uuzel	U	V	W	FIX	FIY	FIZ
1	-0.87334E-29	0.24039E-02	-0.10055E-04	0.12090E-03	-0.14147E-28	0.55759E-30
2	-0.87334E-29	0.24039E-02	0.10055E-04	-0.12090E-03	0.14147E-28	0.55759E-30
29	0.27989	-0.24346	0.85852E-04	-0.16593E-06	-0.38635E-03	-0.85115E-03
30	0.27989	-0.24346	-0.85852E-04	0.16593E-06	0.38635E-03	-0.85115E-03
49	-0.34439E-31	-0.56294	-0.48884E-04	-0.12744E-02	0.12942E-28	0.11866E-28
50	-0.34439E-31	-0.56294	0.48884E-04	0.12744E-02	-0.12942E-28	0.11866E-28

rezultati 2

Ekstremni stojnosti na premetstvanja uuzlow sili i naprevenia (razrezni usilia)

Uobobteni premetstvanja

Obob.	premetstvanje	minimalno	uuzel	maksimalno	uuzel
U		-0.15141E-04	3	0.10439E-02	27
V		-0.24039E-02	49	0.19802E-02	1
W		-0.33645E-04	1	0.33645E-04	2
FIX		-0.51152E-03	2	0.51152E-03	1
FIY		-0.46422E-04	8	0.46422E-04	7
FIZ		-0.17792E-03	3	0.28189E-04	33

Uobobteni sili

Obob.	sila	minimalno	uuzel	maksimalno	uuzel
FX		-3.0975	7	3.0982	1
FY		-0.50000	8	0.50000	1
FZ		-0.57149	8	0.57149	7
MX		-0.41913E-04	27	0.49127E-04	22
MY		-2.5278	2	2.5278	1
MZ		-0.13784E-01	49	1.1587	1

naprevenia (razrezni usilia)

naprevenie (P.O.)	minimalno	element	maksimalno	element
SIGXs	-2.5394	1	0.92534E-02	18
SIGYs	-6.0763	3	2.2655	1

1	-0.87334E-29	0.24039E-02	-0.10055E-04	0.12090E-03	-0.14147E-28	0.85759E-30
2	-0.87334E-29	0.24039E-02	0.10055E-04	-0.12090E-03	0.14147E-28	0.85759E-30
39	0.27947	-0.24344	0.85852E-04	-0.16593E-06	-0.38335E-03	-0.85115E-02
40	0.27947	-0.24344	-0.85852E-04	0.16593E-06	0.38335E-03	-0.85115E-02
49	-0.34439E-31	-0.53294	-0.48884E-04	-0.12744E-02	0.12942E-28	0.11844E-28
50	-0.34439E-31	-0.53294	0.48884E-04	0.12744E-02	-0.12942E-28	0.11844E-28

rezultati 2

Ekstremni stanosti na premestvanja vzhlov sili i naprevenia (razrezni usilia)

Obobleni premestvanja

Obobleni premestvanja	minimalno	Brazel	maksimalno	vzhzel
U	-0.15141E-04	3	0.10437E-02	27
V	-0.24039E-02	49	0.19802E-02	1
W	-0.33645E-04	1	0.33645E-04	2
FIX	-0.51152E-03	2	0.51152E-03	1
FIY	-0.46422E-04	8	0.46422E-04	7
FIZ	-0.17772E-03	3	0.28189E-04	33

Obobleni sili

Obobleni sili	minimalno	vzhzel	maksimalno	vzhzel
FX	-3.0978	7	3.0982	1
FY	-0.50000	8	0.50000	1
FZ	-0.37149	8	0.37149	7
HX	-0.41713E-04	27	0.41713E-04	22
HY	-2.5278	2	2.5278	1
HZ	-0.13784E-01	49	1.1087	1

naprevenia (razrezni usilia)

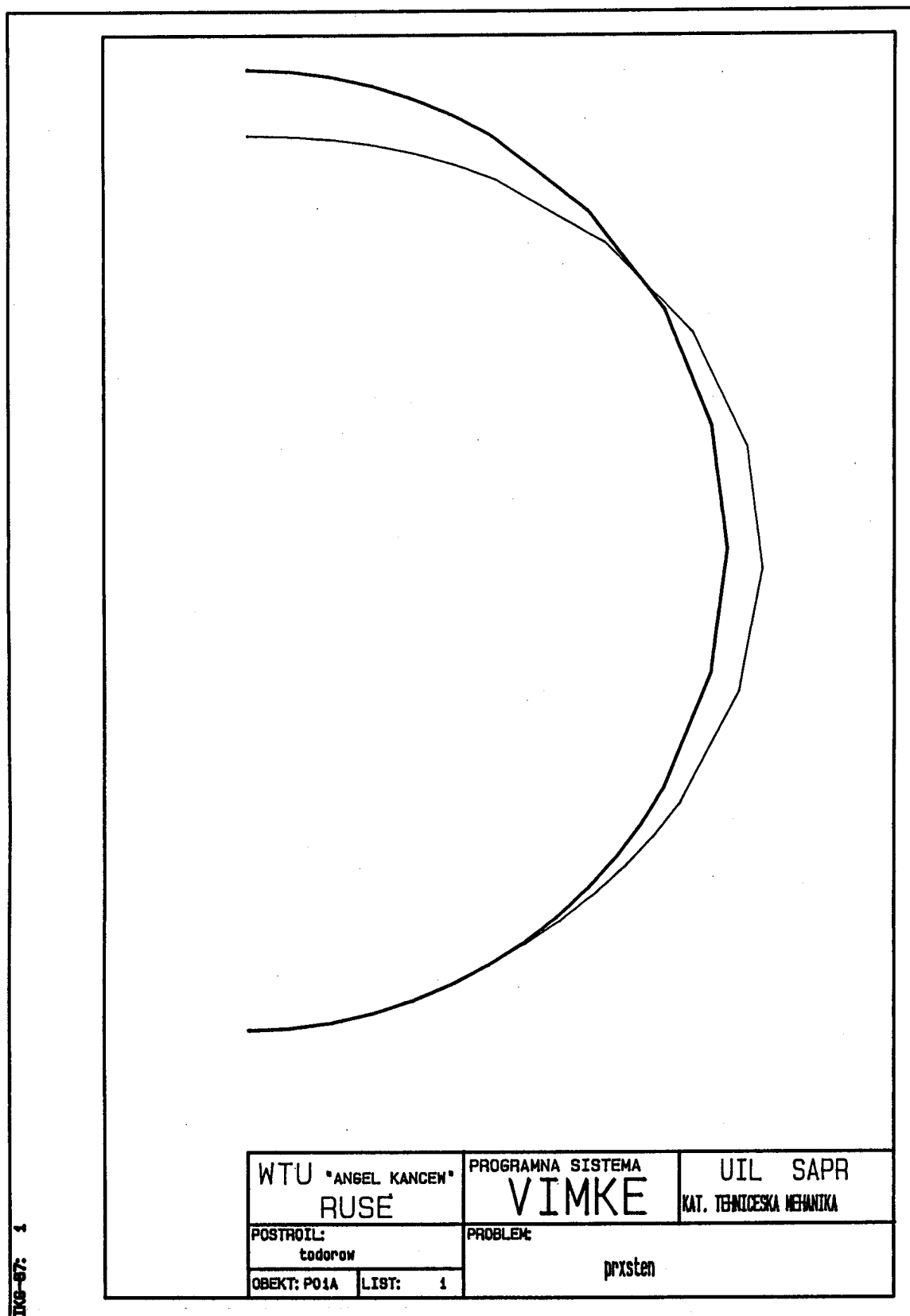
naprevenie (P.u.)	minimalno	element	maksimalno	element
SIGXx	-2.5394	1	0.92534E-02	18
SIGYx	-4.0763	3	2.2655	1
TAUXYx	-4.6081	1	4.6081	1
TZXP	-0.13809E-14	1	0.12075E-14	1
TYZCP	-0.99316E-01	1	0.55850E-01	3
SIGXd	-0.86851E-02	24	3.3170	1
SIGYd	-8.1837	1	1.4701	3
TAUXYd	-4.0286	1	4.0286	1
SIGMAXd	-1.4557	2	3.3176	1
SIGMINS	-7.9953	1	0.91820E-02	18
ALFAd	0.00000E+00	6	179.79	12
SIGMAXd	-0.86521E-02	24	4.5878	1
SIGMIND	-7.4545	1	0.91362	2
ALFAd	0.00000E+00	1	179.95	19
SIGd	0.46387E-02	17	12.402	1
KS	0.00000E+00	1	0.00000E+00	1

Obobleni PEMECTBAHIA

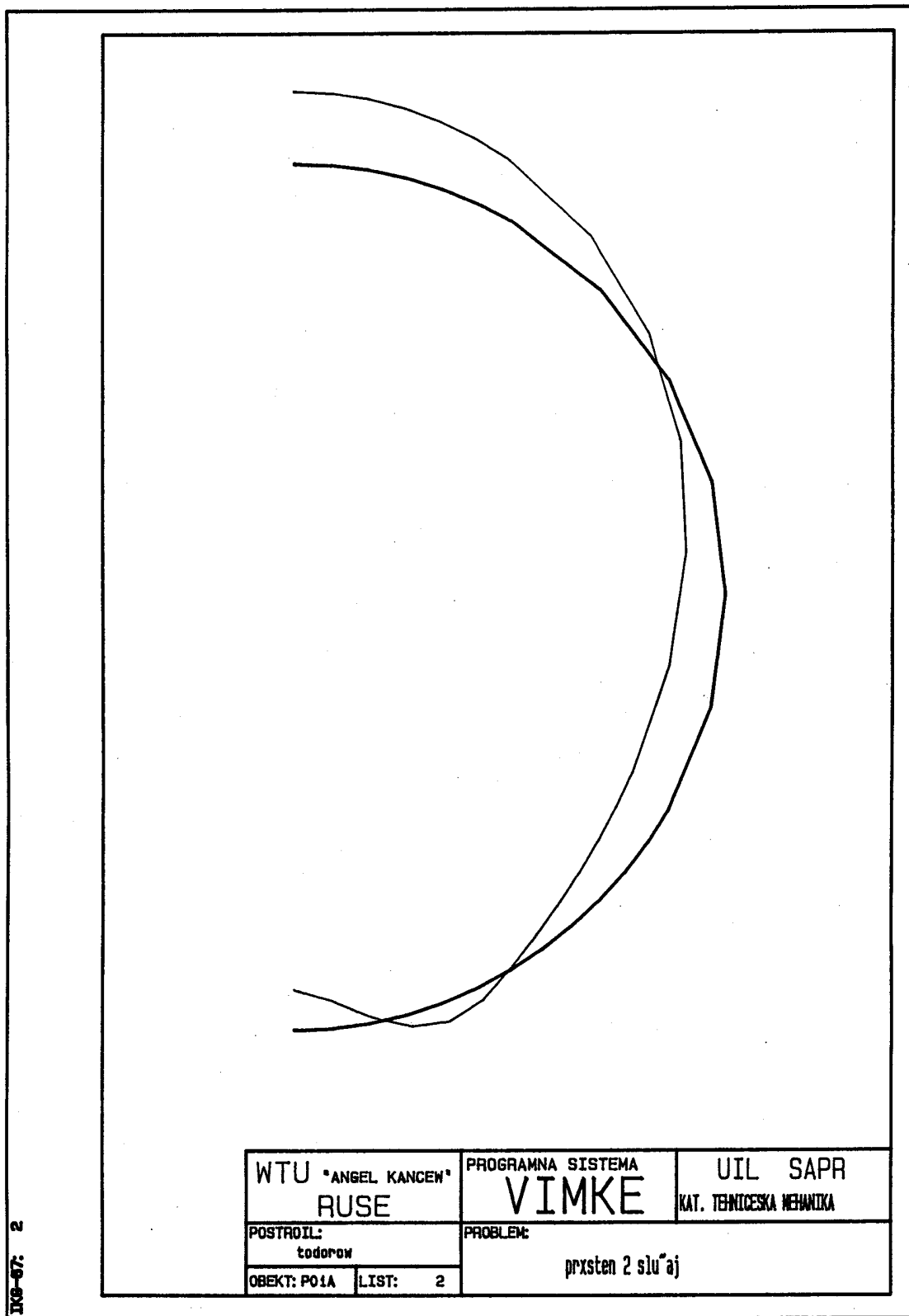
vzhzel	U	V	W	FIX	FIY	FIZ
--------	---	---	---	-----	-----	-----

1	-0.30982E-29	0.19802E-02	-0.33645E-04	0.51152E-03	-0.25278E-29	-0.11087E-29
2	-0.30982E-29	0.19802E-02	0.33645E-04	-0.51152E-03	0.25278E-29	-0.11087E-29
29	0.53227E-03	-0.16959E-02	0.19328E-06	0.33838E-08	-0.85624E-04	0.17189E-04
30	0.53227E-03	-0.16959E-02	-0.19328E-06	-0.33838E-08	0.85624E-04	0.17189E-04
49	0.70082E-33	-0.24039E-02	-0.24664E-07	-0.10234E-05	0.14301E-31	0.13763E-31
50	0.70082E-33	-0.24039E-02	0.24664E-07	0.10234E-05	-0.14301E-31	0.13763E-31

LU
VIMKE loaded out at 11-JUL-1988 15:43:56.87



Фиг.1. Характер на деформациите на ЕДПМ (пръстен) след прилагане на $X^{(K)}$ към него получени и построени непосредствено от ЕИМ след изчисления с програма "VIMKE".



Фиг.2. Характер на деформациите на ЕДПМП (пръстен) след прилагане на $X_D^{(k)}$ към него получени и построени непосредствено от ЕИМ след изчисления с програма "VIMKE".

Резултати от деформационни изчисления на ЕРФЕ
(диско-лост) и стойка, извършени на ЕИМ чрез
прилагане на програма "VIMKE"

ИЗСЛЕДВАНЕ НА НАПРЕГНАТОТО И
ДЕФОРМИРАНО СЪСТОЯНИЕ НА УСТРОЙСТВО
НАЦИОНАЛЕН ЕТАЛОН ЗА ВЪРТЯЩ
МОМЕНТ ОТ СИЛА

1. ВЪВЕДЕНИЕ

=====

НАСТОЯЩАТА ЗАПИСКА СЪДЪРЖА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО НА ДИСКА И СТОЙКАТА, УЧАСТВУВАЩИ В ПРОЕКТИРАНАТА КОНСТРУКЦИЯ. ОБЩИЯТ ВИД НА КОНСТРУКЦИЯТА Е ПОКАЗАН НА ФИГ. 1, НА ДИСКА - НА ФИГ. 2, А НА СТОЙКАТА - НА ФИГ. 3.

ИЗЧИСЛЕНИЯТА СА ИЗВЪРШЕНИ ПО МЕТОДА НА КРАЙНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ ЧРЕЗ ПРОГРАМНАТА СИСТЕМА "ВИМКЕ" НА 32-БИТОВ МИНИКОМПЮТЪР.

2. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДИСКА

=====

2.1. КОНСТРУКЦИЯ НА ДИСКА

ДИСКЪТ ПРЕДАВЛЯВА ТЪНКОСТЕННА ЗАВАРЕНА КОНСТРУКЦИЯ. ОТДЕЛНИТЕ СЪСТАВНИ ЧАСТИ СА ПОКАЗАНИ НА ФИГ. 4. ПОРАДИ НАЛИЧИЕ НА СИМЕТРИЯ ПО НАТАТЪК Е РАЗГЛЕДАНА САМО ЕДНАТА ПОЛОВИНКА НА ДИСКА. ДИСКЪТ ТРЯБВА ДА ОСИГУРЯВА ФОРМИРАНЕТО НА ВЪРТЯЩ МОМЕНТ ДО 6000 NM В РЕЖИМ НА ЛОСТ И ДО 30000 NM В РЕЖИМ НА ДИСК. ДВАТА РЕЖИМА ОПРЕДЕЛЯТ И ДВАТА НАЧИНА НА ЗАКРЕПВАНЕ НА ДИСКА - В ПЪРВИЯ СЛУЧАЙ ТОЙ ЛЯГА ВЪРХУ СТОЙКАТА (ЧРЕЗ ПРИЗМА), ВЪВ ВТОРИЯ СЛУЧАЙ НАТОВАРВАНЕТО СЕ ПОЕМА ОТ ВАЛА. ДИСКЪТ Е ИЗРАБОТЕН ОТ СТОМАНА С АНТИКОРОЗИЙНО ХИМИЧНО ПОКРИТИЕ. ПРИЕТИ СА СЛЕДНИТЕ МЕХАНИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

ПЛЪТНОСТ: 7.8×10^{-5} N/MM**3

МОДУЛ НА ЕЛАСТИЧНОСТ: 2.1×10^5 МРА

КОЕФИЦИЕНТ НА ПОАСОН: 0.3

ДОПУСТИМО НАПРЕЖЕНИЕ: 360 МРА

2.2. ДИСКРЕТИЗАЦИЯ НА ДИСКА

ЗА МОДЕЛИРАНЕ НА ДИСКА СЪГЛАСНО ИЗИСКВАНИЯТА НА "МКЕ" СА ИЗПОЛЗВАНИ СЛЕДНИТЕ КРАЙНИ ЕЛЕМЕНТИ:

SR3H - ЧЕТИРИЪГЪЛЕН ПЛОСЪК НЕМБРАННО-ПЛОЧОВ ЕЛЕМЕНТ, ПОЛУЧЕН ПО ХИЕРИДНИЯ МЕТОД. ОБОБЩЕНИ НЕИЗВЕСТНИ ВЪВ ВЪЗЛИТЕ СА ТРИТЕ ЛИНЕЙНИ ПРЕМЕСТВАНИЯ U, V, W И ТРИТЕ РОТАЦИИ

SD3H - ТРИЪГЪЛЕН ЕЛЕМЕНТ СЪС СЪЩИТЕ СВОЙСТВА КАТО SR3H.

ПРИ ДИСКРЕТИЗАЦИЯТА В ДИСКА СА ВКЛЮЧЕНИ ДЕТАЙЛИТЕ, ОЗНАЧЕНИ НА ФИГ. 4 С НОМЕРА 1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 24, 25, 26, 27. В ТЕЗИ 18 ДЕТАЙЛА ИМА И ДЕТАЙЛИ С ЕДНАКВА ГЕОМЕТРИЯ. ПО ТАЗИ ПРИЧИНА ДИСКРЕТИЗАЦИЯТА НА ОБЕКТА Е ИЗВЪРШЕНА НА 10 ОСНОВНИ ДЕТАЙЛА. ЧРЕЗ ПРОГРАМАТА "FEDAT" ОПИСАНИЕТО НА ВСЕКИ ОСНОВЕН ДЕТАЙЛ Е ВЪВЕДЕНО В КОМПЮТЪРА И Е ИЗВЪРШЕНО СГЛОБЯВАНЕТО НА ДЯСНАТА ПОЛОВИНА НА КОЛЕЛОТО. ДИСКРЕТИЗАЦИЯТА НА ОСНОВНИТЕ ДЕТАЙЛИ Е ПОКАЗАНА НА ФИГ. 5. В ТАБЛ. 1 Е ПОКАЗАНО СЪОТВЕТСТВИЕТО МЕЖДУ НОМЕРА НА ДЕТАЙЛА СЪГЛАСНО ФИГ. 4, НОМЕРА НА ОСНОВНИЯ ДЕТАЙЛ СЪГЛАСНО ФИГ. 5 И ПОЛОЖЕНИЕТО НА ЛОКАЛНАТА ЗА ОСНОВНИТЕ ДЕТАЙЛИ КООРДИНАТНА СИСТЕМА СПРЯМО КООРДИНАТНАТА СИСТЕМА НА ДИСКА.

ТАБЛ. 1

ДАННИ ЗА СТИКОВАНЕТО НА ДЕТАЙЛИТЕ

I	ДЕТ.	НОМЕР	НОМЕР	КООРДИНАТИ (X,Y,Z)		
I	N	ПО	НА	НАЧАЛО НА	ТОЧКА ОТ	ТОЧКА ОТ
I		ЧЕРТЕЖ	ОБЕКТА	КООР.С-МА	ОСТА X	РАВН. XY
I		фиг. 4	фиг. 5			
I	1	1	02	0,-200,0	100,-200,0	100,-100,0
I	2	5	10	0,0,0	100,0,0	100,100,0
I	3	6	10	0,0,26	100,0,26	100,-100,26
I	4	8	09	163,-115,20	163,-115,20	163,0,20
I	5	9	08	0,0,0	100,0,0	100,100,0
I	6	14	05	152,20,0	83,42,0	83,42,20
I	7	15	06	152,20,0	69,-36,0	69,-36,20
I	8	16	07	55,-55,0	163,-28,0	163,-28,20
I	9	24	03	0,200,0	0,80,0	0,80,26
I	10	25	04	141,141,0	67,67,0	67,67,26
I	11	26	04	141,-141,0	67,-67,0	67,-67,26
I	12	27	04	0,-200,0	0,0,0	0,0,26
I	13	3	01	0,-100,13	100,-100,13	100,0,13
I	14	17	05	152,20,13	83,42,13	83,42,26
I	15	18	06	152,20,13	69,-36,13	69,-36,26
I	16	19	07	55,-55,13	163,-28,13	163,-28,26
I	17	10	08	0,0,13	100,0,13	100,100,13
I	18	2	02	0,-200,26	100,-200,26	100,-100,26

СЛЕД ОБЕДИНЯВАНЕТО НА ВСИЧКИ ДЕТАЙЛИ СЕ ПОЛУЧИХА СЛЕАНИТЕ ДАННИ ЗА КОНСТРУКЦИЯТА:

БРОЙ КРАЙНИ ЕЛЕМЕНТИ: 443

БРОЙ ВЪЗЛИ: 490

МАКС. РАЗЛИКА В НОМЕРАТА НА ВЪЗЛИТЕ: 460

ПОСЛЕДНОТО ОБСТОЯТЕЛСТВО НАЛОЖИ ДА СЕ ИЗВЪРШИ ОПТИМАЛНА ПРЕНОМЕРАЦИЯ НА ВЪЗЛИТЕ, В РЕЗУЛТАТ НА КОЕТО РАЗЛИКАТА СПАДНА НА 83.

ОКОНЧАТЕЛНИЯТ ВИД НА ДИСКРЕТИЗАЦИЯТА НА ДЯСНАТА ПОЛОВИНА ОТ ДИСКА Е ПОКАЗАН НА ФИГ. 6. НОМЕРАТА НА ВЪЗЛИТЕ В ОТДЕЛНИТЕ ДЕТАЙЛИ НА ДИСКА СА ПОКАЗАНИ НА ФИГ. 7 ДО ФИГ. 15.

2.3. НАТОВАРВАНЕ И ЗАКРЕПВАНЕ НА ДИСКА

ОТЧЕТЕНИ СА СЛЕАНИТЕ СЛУЧАИ НА НАТОВАРВАНЕ:

1. СЛУЧАЙ: СОБСТВЕНО ТЕГЛО

2. СЛУЧАЙ: НАТОВАРВАНЕ СЪС СИЛИ 6000 N ПРИЛОЖЕНИ СИМЕТРИЧНО ВЪРХУ ДОСТА (ФИГ. 16 А)

3. СЛУЧАЙ: НАТОВАРВАНЕ ОТ ДВОИЦА СИЛИ, ВСЯКА С ГОЛЕМИНА 20000 N (ФИГ. 16 Б)

ТРЕТИЯТ СЛУЧАЙ НЕ Е СИМЕТРИЧЕН ОТНОСНО ОСТА Y, КОЕТО НАЛАГА РАЗЛАГАНЕТО МУ НА 2 СЛУЧАЯ:

А) СИМЕТРИЧНО НАТОВАРВАНЕ

Б) АНТИСИМЕТРИЧНО НАТОВАРВАНЕ

РЕШЕНИЕТО ЗА ТРЕТИЯ СЛУЧАЙ ТОГАВА МОЖЕ ДА СЕ ПОЛУЧИ ЧРЕЗ СУПЕРПОЗИЦИЯ НА СИМЕТРИЧНОТО И АНТИСИМЕТРИЧНОТО НАТОВАРВАНЕ. В ТРЕТИЯ СЛУЧАЙ НАТОВАРВАНЕТО Е ПРИЛОЖЕНО ВЪРХУ ТЪНКИ МЕТАЛНИ ЛЕНТИ, ЗАКРЕПЕНИ ВЪРХУ ДИСКА НА МЕСТАТА, ОЗНАЧЕНИ С "А" И "Б". ВЪЗДЕЙСТВИЕТО НА ЛЕНТАТА ВЪРХУ ДИСКА Е ПОКАЗАНО НА ФИГ. 17. ПРИЕТО Е, ЧЕ ЛИПСВА СИЛА НА ТРИЕНЕ. НОРМАЛНИЯТ НАТИСК ВЪРХУ ГОРНАТА ЧАСТ ОТ ДИСКА Е:

$$q_n = \frac{F}{R} = 20000 \text{ N/m}$$

ОТ ИЗИСКВАНЕТО МОМЕНТЪТ НА СИЛИТЕ СПРЯМО ЦЕНТЪРА "O" ДА БЪДЕ РАВЕН НА "F.R" СЕ ПОЛУЧАВА:

$$F_0 + F_1 \cdot b = F \cdot R$$

ОТ ТУК

$$F_1 = F \frac{\sqrt{R^2 - a^2}}{R + a}$$

РАЗПРЕДЕЛЕНИЯТ ТОВАР СЕ СВЕЖАА ДО ОБОБЩЕНИ СИЛИ ВЪВ ВЪЗЛИТЕ ПО ФОРМУЛИТЕ:

$$Q_x = \frac{q \cdot l}{2} \cdot \sin \alpha \quad Q_y = \frac{q \cdot l}{2} \cdot \cos \alpha$$

ВСЯКА СИЛА СЕ РАЗЛАГА ОТ СВОЯ СТРАНА НА СИМЕТРИЧНА И АНТИСИМЕТРИЧНА ЧАСТ, РАЗГЛЕЖААТ СЕ ТРИ ОСНОВНИ СЛУЧАЯ НА ЗАКРЕПВАНЕ:

1. СЛУЧАЙ: ВЪЗЛИТЕ, ЧРЕЗ КОИТО СЕ ОСЪЩЕСТВЯВА КОНТАКТА С ВАЛА СЕ ПРИЕМАТ ЗА НЕПОДВИЖНИ

2. СЛУЧАЙ: УСЛОВИЯ НА СИМЕТРИЯ ПО ЛИНИЯТА

$$X = 0; \quad U = V_y = V_z = 0$$

3. СЛУЧАЙ: УСЛОВИЯ НА АНТИСИМЕТРИЯ ПО ЛИНИЯТА

$$X = 0; \quad V = 0$$

В СЪОТВЕТСТВИЕ С ТОВА СЕ ФОРМУЛИРАТ СЛЕДНИТЕ РЕШЕНИЯ:

РЕШЕНИЕ 1: СИМЕТРИЧНО НАТОВАРВАНЕ НА КОНСТРУКЦИЯТА, РЕШЕНИЕТО СЕ ИЗПЪЛНЯВА ЗА СЛУЧАЙ НА НАТОВАРВАНЕ САМО НА СИМЕТРИЧНАТА СЪСТАВЛЯВАЩА, КАТО ЗАКРЕПВАНЕ СЕ ВГРАЖААТ 1 И 2 СЛУЧАИ.

РЕШЕНИЕ 2: АНТИСИМЕТРИЧНО НАТОВАРВАНЕ, КАТО ЗАКРЕПВАНЕ СЕ РЕАЛИЗИРАТ СЛУЧАИТЕ 1 И 3, А КАТО НАТОВАРВАНЕ - САМО АНТИСИМЕТРИЧНАТА СЪСТАВЛЯВАЩА НА ТРЕТИЯ СЛУЧАЙ.

ОПИСАНИЕТО НА ВХОДНАТА ИНФОРМАЦИЯ Е ДАДАНО ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

2.4. РЕЗУЛТАТИ ОТ АНАЛИЗА

АНАЛИЗЪТ Е ИЗВЪРШЕН ПРИ ДВЕ ГРУПИ ДЕБЕЛИНИ НА ДЕТАЙЛИТЕ В СЛУЧАИТЕ, КОИТО СЕ ОЗНАЧИМ С C1 И C2 ПРИЕТИ СЛЕДНИТЕ ДЕБЕЛИНИ

ДЕБЕЛИНА				ДЕТАЙЛИ	
I	I	I	I	I	I
I	C1	I	C2	I	СЪГЛ. ФИГ. 4
I	I	I	I	I	I
I	40	I	40	I	3
I	20	I	15	I	1, 2
I	30	I	20	I	24, 25, 26, 27
I	20	I	20	I	14, 15, 16, 17, 18, 19
I	40	I	40	I	9, 10
I	30	I	30	I	5, 6, 8
I	I	I	I	I	I

ОБОБЩЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ ЗА СЛУЧАЯ C1 И C2 СА ДАДАНИ В ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ТУК СЕ БЪДАТ НАПРАВЕНИ САМО НЯКОИ ИЗВОДИ.

* Р Е З У Л Т А Т И *

I С Л У Ч А Я 1 I

ПРИ СИМЕТРИЧНО НАТОВАРВАНЕ С ДВЕ СИЛИ ОТ 6000 N

НАЙ-ГОЛЯМОТО ПРЕМЕСТВАНЕ ОТ -0.035 MM ПО ОСТА <Y> СЕ ПОЛУЧАВА ВЪВ ВЪЗЕЛ 222. ДЕФОРМИРАНОТО СЪСТОЯНИЕ Е ПОКАЗАНО НА ФИГ. 18. НАПРЕЖЕНИЯТА СА МАЛКИ. НАЙ-ГОЛЯМОТО ЕКВИВАЛЕНТНО НАПРЕЖЕНИЕ Е 10.64 МРА. НАЙ-МАЛКИЯТ КОЕФИЦИЕНТ НА СИГУРНОСТ Е 33.8 .

ПРИ СЪЗДАВАНЕ НА МОМЕНТ ЧРЕЗ ДВЕ СИЛИ ОТ 20000 N

НАЙ-ГОЛЯМОТО ПРЕМЕСТВАНЕ ОТ -0.029 MM ПО ОСТА <Y> СЕ ПОЛУЧАВА ВЪВ ВЪЗЕЛ 217. ДЕФОРМИРАНОТО СЪСТОЯНИЕ Е ПОКАЗАНО НА ФИГ. 19. НАПРЕЖЕНИЯТА СА МАЛКИ. НАЙ-ГОЛЯМОТО ЕКВИВАЛЕНТНО НАПРЕЖЕНИЕ Е 14.96 МРА. НАЙ-МАЛКИЯТ КОЕФИЦИЕНТ НА СИГУРНОСТ Е 24 .

1 С Л У Ч А Й 2 1

ПРИ СИМЕТРИЧНО НАТОВАРВАНЕ С ДВЕ СИЛИ ОТ 6000 N

НАЙ-ГОЛЯМОТО ПРЕМЕСТВАНЕ ОТ -0.036 MM ПО ОСТА <Y> СЕ ПОЛУЧАВА ВЪВ ВЪЗЕЛ 222. ДЕФОРМИРАНОТО СЪСТОЯНИЕ Е ПОКАЗАНО НА ФИГ. 18. НАПРЕЖЕНИЯТА СА МАЛКИ. НАЙ-ГОЛЯМОТО ЕКВИВАЛЕНТНО НАПРЕЖЕНИЕ Е 10.67 МРА. НАЙ-МАЛКИЯТ КОЕФИЦИЕНТ НА СИГУРНОСТ Е 33.7 .

ПРИ СЪЗДАВАНЕ НА МОМЕНТ ЧРЕЗ ДВЕ СИЛИ ОТ 20000 N

НАЙ-ГОЛЯМОТО ПРЕМЕСТВАНЕ ОТ -0.035 MM ПО ОСТА <Y> СЕ ПОЛУЧАВА ВЪВ ВЪЗЕЛ 217. ДЕФОРМИРАНОТО СЪСТОЯНИЕ Е ПОКАЗАНО НА ФИГ. 19. НАПРЕЖЕНИЯТА СА МАЛКИ. НАЙ-ГОЛЯМОТО ЕКВИВАЛЕНТНО НАПРЕЖЕНИЕ Е 19.8 МРА. НАЙ-МАЛКИЯТ КОЕФИЦИЕНТ НА СИГУРНОСТ Е 19.2 .

=====

КО М Е Н Т А Р К Ъ М Р Е З У Л Т А Т И Т Е

=====

ТАБУЛОГРАМИТЕ В ПРИЛОЖЕНИЕ 2 ПОКАЗВАТ, ЧЕ НАПРЕЖЕНИЯТА СА МНОГО ПОД ДОПУСТИМИТЕ, КОЕТО ОЗНАЧАВА, ЧЕ НЯМА ЗАСТРАШЕНИ ОТ РАЗРУШЕНИЕ МЕСТА В КОНСТРУКЦИЯТА.

ПРИ СРАВНЯВАНЕ РЕЗУЛТАТИТЕ, ПОЛУЧЕНИ ПРИ РЕШАВАНЕ НА С1 И С2 СЕ УСТАНОВЯВА, ЧЕ ПРОМЯНАТА НА ДЕБЕЛИНИТЕ НЕ ВОДИ ДО СЪЩЕСТВЕНИ ИЗМЕНЕНИЯ НА НАПРЕЖЕНИЯТА И ДЕФОРМАЦИИТЕ. В С1 ТЕГЛОТО Е 484.77 КГ, А В С2 - 412.14 КГ.

на монолитната
от колелото

=====

3. ИЗСЛЕДВАНЕ НА СТОЙКАТА

=====

3.1. КОНСТРУКЦИЯ НА СТОЙКАТА

СТОЙКАТА ПРЕСТАВЛЯВА МАСИВНО ТЯЛО. ТЯ Е СГЛОБЕНА ОТ ОТДЕЛНИ ЕЛЕМЕНТИ. ПРИ ИЗЧИСЛЕНИЕТО СЕ ПРЕАПОЛАГА, ЧЕ СТОЙКАТА ПРЕСТАВЛЯВА МОНОЛИТНА КОНСТРУКЦИЯ. СТОЙКАТА Е ЗАКРЕПЕНА НЕПОДВИЖНО, А ВЪРХУ НЕЯ, НЕПОДВИЖНО СЕ СПУСКА ДИСКА. ДЕЙСТВИЕТО НА ПРИЗМАТА ВЪРХУ СТОЙКАТА СЕ ОСЪЩЕСТВЯВА ПО ЛИНИЯ. ОБЩИЯТ ВИД НА СТОЙКАТА Е ПОКАЗАН НА ФИГ. 3.

ПОРАДИ ДВУКРАТНА СИМЕТРИЯ И СИМЕТРИЧНО НАТОВАРВАНЕ СЕ РАЗГЛЕЖДА САМО ЕДНА ЧЕТВЪРТИНКА ОТ СТОЙКАТА.

МАТЕРИАЛНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СА:

МОДУЛ НА ЕЛАСТИЧНОСТ: $E = 2.1 \times 10^5$ МРА
КОЕФИЦИЕНТ НА ПОАСОН: $\mu = 0.3$

3.2. ДИСКРЕТИЗАЦИЯ НА СТОЙКАТА

ИЗПОЛЗВАНИ СА ПРОСТРАНСТВЕНИ КРАЙНИ ЕЛЕМЕНТИ С ОЗНАЧЕНИЯ:

ТРЗР - ТРИЪГЪЛНА ПРИЗМА

ТНЗР - ХЕКСАЕДЪРЕН ЕЛЕМЕНТ

ЕЛЕМЕНТИТЕ СА С МЕЖЛИНИ ВЪЗЛИ. ОБЩИЯТ ВИД НА СТОЙКАТА Е ПОКАЗАН НА ФИГ. 20. ОБЩИЯТ БРОЙ НА ЕЛЕМЕНТИТЕ Е 43, А НА ВЪЗЛИТЕ 347.

3.3. НАТОВАРВАНЕ И ЗАКРЕПВАНЕ

СТОЙКАТА Е НАТОВАРЕНА С РАВНОМЕРЕН ЛИНЕЙНО РАЗПРЕДЕЛЕН ТОВАР С ИНТЕНЗИТЕТ 1.

ЗАКРЕПВАНЕТО Е НЕПОДВИЖНО В ОСНОВАТА. ПОРАДИ ТОВА, ЧЕ ЗАДАЧАТА Е ЛИНЕЙНА АКО ИНТЕНЗИТЕТЪТ Е q , СЛЕДВА, ВСИЧКИ РЕЗУЛТАТИ ДА БЪДАТ УМНОЖЕНИ ПО q .

ВХОДНИТЕ ДАННИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА СТОЙКАТА СА ДАДЕНИ В ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

3.4. РЕЗУЛТАТИ ОТ АНАЛИЗА

РЕЗУЛТАТИТЕ ПОЛУЧЕНИ ОТ АНАЛИЗА ПРИ $q = 1$ СА ДАДЕНИ В ПРИЛОЖЕНИЕ 4. РЕАЛНАТА СТОЙНОСТ НА q СЕ ПОЛУЧАВА КАТО СЕ ВЗЕМЕ ПРЕВИА:

А/ ТЕГЛОТО НА ДИСКА - $F_1 = 10\text{KN}$

Б/ ТЕГЛОТО НА ВАЛА - $F_2 = 10\text{KN}$

В/ ДЕЙСТВИЕТО НА АВЕТЕ СИЛИ ОТ 6KN - $F_3 = 12\text{KN}$

СУМАРНАТА СИЛА Е 32KN . ТЯ СЕ РАЗПРЕДЕЛЯ ВЪРХУ ЛИНИЯ С ДЪЛЖИНА $L=700\text{mm}$, КОЕТО ВОДИ ДО ИНТЕНЗИТЕТ НА ТОВАРА ОТ 45.7N/mm . ПОРАДИ СИМЕТРИЯ МНОЖИТЕЛЯ С КОЙТО ТРЯБВА ДА БЪДАТ УМНОЖЕНИ РЕЗУЛТАТИТЕ Е $0.5 \cdot 45.7 = 22.85\text{N/mm}$. ПРИ ТОВА ПОЛОЖЕНИЕ СЕ ПОЛУЧАВАТ СЛЕДНИТЕ РЕЗУЛТАТИ:

- НАЙ-ГОЛЯМОТО ПРЕМЕСТВАНЕ СЕ ПОЛУЧАВА ВЪВ ВЪЗЕЛ 326 И ИМА СТОЙНОСТ - 0.017mm . ТОВА ПРЕМЕСТВАНЕ Е ПО НАПРАВЛЕНИЕ НА ОСТА. Z (ВЕРТИКАЛНО).
- НАЙ-ГОЛЯМОТО ЕКВИВАЛЕНТНО НАПРЕЖЕНИЕ СЕ ПОЛУЧАВА В ЕЛЕМЕНТ 18 И ВЪЗЛИЗА НА 9.12MPa .

ДЕФОРМИРАНОТО СЪСТОЯНИЕ НА СТОЙКАТА Е ПОКАЗАНО В РАЗЛИЧНИ ПРОЕКЦИИ НА ФИГ. 21-23.

1

* BTY-PYCE * УИЛ С А П Р *

П Р И Л О Ж Е Н И Е 2

1 С Л У Ч А Й 1 1

1. СИМЕТРИЧНО НАТОВАРВАНЕ С ДВЕ СИЛИ ОТ 6000 N

ЕКСТРЕМНИ СТОЙНОСТИ НА ПРЕМЕСТВАНИЯ ВЪЗЛОВ СИЛИ И НАПРЕЖЕНИЯ (РАЗРЕЗНИ УСИЛИЯ)

ОБЩЕНИ ПРЕМЕСТВАНИЯ

ОБЩЕ. ПРЕМЕСТВАНЕ	МИНИМАЛНО	ВЪЗЕЛ	МАКСИМАЛНО	ВЪЗЕЛ
U	-0.41283E-02	214	0.95841E-02	234
V	-0.35040E-01	222	0.94691E-05	488
W	-0.52826E-03	299	0.53049E-03	218
FIX	-0.13294E-04	238	0.13286E-04	236
FIY	-0.91939E-05	253	0.91954E-05	259
FIZ	-0.15688E-03	234	0.28054E-04	256

ОБЩЕНИ СИЛИ

ОБЩЕ. СИЛА	МИНИМАЛНА	ВЪЗЕЛ	МАКСИМАЛНА	ВЪЗЕЛ
FX	-1159.9	482	1328.8	7
FY	-6011.0	234	717.77	276
FZ	-28.575	447	28.579	441
MX	-594.64	57	594.63	435
MY	-20724.	7	20711.	27
MZ	-7640.5	25	6348.2	42

НАПРЕЖЕНИЯ (РАЗРЕЗНИ УСИЛИЯ)

НАПРЕЖЕНИЕ (Р.У.)	МИНИМАЛНО	ЕЛЕМЕНТ	МАКСИМАЛНО	ЕЛЕМЕНТ
SIGXГ	-7.3250	292	5.7717	291
SIGYГ	-4.3772	176	7.8337	289
TAUXYГ	-5.6042	291	1.9894	176
TZXCP	-0.82316	311	0.82322	176
TYZCP	-0.55453	176	0.42090	176
SIGXA	-7.3249	292	5.7717	291
SIGYA	-4.5986	311	7.8336	289
TAUXYA	-5.6042	291	1.5084	290
SIGMAXГ	-3.3319	176	9.9629	291
SIGNING	-7.3863	292	4.4586	289
ALFAG	0.00000E+00	130	180.00	143
SIGMAXA	-3.5739	176	9.9629	291
SIGNINA	-7.3862	292	4.4585	289
ALFAA	0.00000E+00	128	179.99	140
SIGE	0.23389E-01	178	10.641	291
KS	33.833	291	7371.2	155

 * ВТУ-РУСЕ * УИЛ С А П Р *

П Р И Л О Ж Е Н И Е 2

2. ПРИ СЪЗДАВАНЕ НА МОМЕНТ ЧРЕЗ АВЕ СИЛИ ОТ 20000 N

ЕКСТРЕМНИ СТОЯНОСТИ НА ПРЕМЕСТВАНИЯ ВЪЗЛОВ СИЛИ И НАПРЕЖЕНИЯ (РАЗРЕЗНИ УСИЛИЯ)
 =====

ОБОБЩЕНИ ПРЕМЕСТВАНИЯ

ОБОБЩ. ПРЕМЕСТВАНЕ	МИНИМАЛНО	ВЪЗЕЛ	МАКСИМАЛНО	ВЪЗЕЛ
U	-0.53684E-01	49	0.49424E-01	465
V	-0.29211E-01	217	0.23257E-01	58
W	-0.36057E-02	24	0.16749E-01	57
FIX	-0.24215E-03	57	0.72021E-04	217
FIY	-0.12331E-03	68	0.86065E-04	457
FIZ	-0.15744E-03	63	0.85091E-04	44

ОБОБЩЕНИ СИЛИ

ОБОБЩ. СИЛА	МИНИМАЛНА	ВЪЗЕЛ	МАКСИМАЛНА	ВЪЗЕЛ
FX	-7334.7	134	5244.6	147
FY	-20021.	217	3563.9	57
FZ	-174.20	340	401.84	147
MX	-5288.1	46	594.61	56
MY	-16662.	7	19150.	27
MZ	-15213.	7	22684.	440

НАПРЕЖЕНИЯ (РАЗРЕЗНИ УСИЛИЯ)

НАПРЕЖЕНИЕ (Р.У.)	МИНИМАЛНО	ЕЛЕМЕНТ	МАКСИМАЛНО	ЕЛЕМЕНТ
SIGXГ	-13.229	311	10.134	176
SIGYГ	-14.094	360	12.267	362
TAUXYГ	-4.1283	362	3.9438	324
TZXCP	-1.6824	176	1.7907	311
TYZCP	-0.98736	360	1.0797	160
SIGXA	-11.459	176	12.359	311
SIGYA	-12.160	328	13.150	142
TAUXYA	-4.2988	362	3.2345	441
SIGMAXГ	-6.6359	352	13.212	362
SIGINГ	-14.113	360	7.2233	362
ALFAG	0.00000E+00	303	179.93	90
SIGMAXA	-9.1887	328	13.247	142
SIGINA	-12.241	328	5.0679	311
ALFAA	0.00000E+00	168	179.98	266
SIGE	0.46875E-02	295	14.960	328
KS	24.064	328	76800.	295

1

 * ВТУ-РУСЕ * УИЛ С А П Р *

П Р И Л О Ж Е Н И Е 2

! С Л У Ч А Я 2 !

 1. СИМЕТРИЧНО НАТОВАРВАНЕ С ДВЕ СИЛИ ОТ 6000 N

 ЕКСТРЕМНИ СТОЯНОСТИ НА ПРЕМЕСТВАНИЯ ВЪЗЛОВ СИЛИ И НАПРЕЖЕНИЯ (РАЗРЕЗНИ УСИЛИЯ)

 ОБОБЩЕНИ ПРЕМЕСТВАНИЯ

ОБОБЩ. ПРЕМЕСТВАНЕ	МИНИМАЛНО	ВЪЗЕЛ	МАКСИМАЛНО	ВЪЗЕЛ
U	-0.43319E-02	214	0.97007E-02	234
V	-0.36320E-01	222	0.13128E-04	488
W	-0.67915E-03	299	0.68091E-03	298
FIX	-0.19114E-04	253	0.19108E-04	259
FIY	-0.13213E-04	253	0.13216E-04	259
FIZ	-0.15955E-03	234	0.28284E-04	256

 ОБОБЩЕНИ СИЛИ

ОБОБЩ. СИЛА	МИНИМАЛНА	ВЪЗЕЛ	МАКСИМАЛНА	ВЪЗЕЛ
FX	-1092.5	482	1280.5	7
FY	-6011.0	234	825.24	276
FZ	-17.083	139	18.875	138
MX	-594.63	429	594.63	56
MY	-21490.	7	21475.	27
MZ	-6976.8	25	5895.7	42

 НАПРЕЖЕНИЯ (РАЗРЕЗНИ УСИЛИЯ)

НАПРЕЖЕНИЕ (Р.У.)	МИНИМАЛНО	ЕЛЕМЕНТ	МАКСИМАЛНО	ЕЛЕМЕНТ
SIGXГ	-7.3060	292	5.7781	291
SIGYГ	-4.4739	311	8.0157	289
TAUXYГ	-5.6215	291	2.0553	176
TZXCP	-0.86401	311	0.86410	176
TYZCP	-0.57319	176	0.42212	176
SIGXA	-7.3059	292	5.7781	291
SIGYA	-4.6802	176	8.0155	289
TAUXYA	-5.6215	291	1.5640	290
SIGMAXГ	-3.3176	176	9.9865	291
SIGMING	-7.3663	292	4.5616	289
ALFAG	0.00000E+00	130	179.98	143
SIGMAXA	-3.7089	176	9.9866	291
SIGMINA	-7.3662	292	4.5616	289
ALFAA	0.00000E+00	127	180.00	140
SIGE	0.30960E-01	178	10.671	291
KS	33.737	291	7577.5	317

1

 * BTY-PYCE * УИЛ С А П Р *

 ПРИЛОЖЕНИЕ 2

2. ПРИ СЪЗАДАВАНЕ НА МОМЕНТ ЧРЕЗ ДВЕ СИЛИ ОТ 20000 N

 ЕКСТРЕМНИ СТОЯНОСТИ НА ПРЕМЕСТВАНИЯ ВЪЗЛОВ СИЛИ И НАПРЕЖЕНИЯ (РАЗРЕЗНИ УСИЛИЯ)

ОБОБЩЕНИ ПРЕМЕСТВАНИЯ

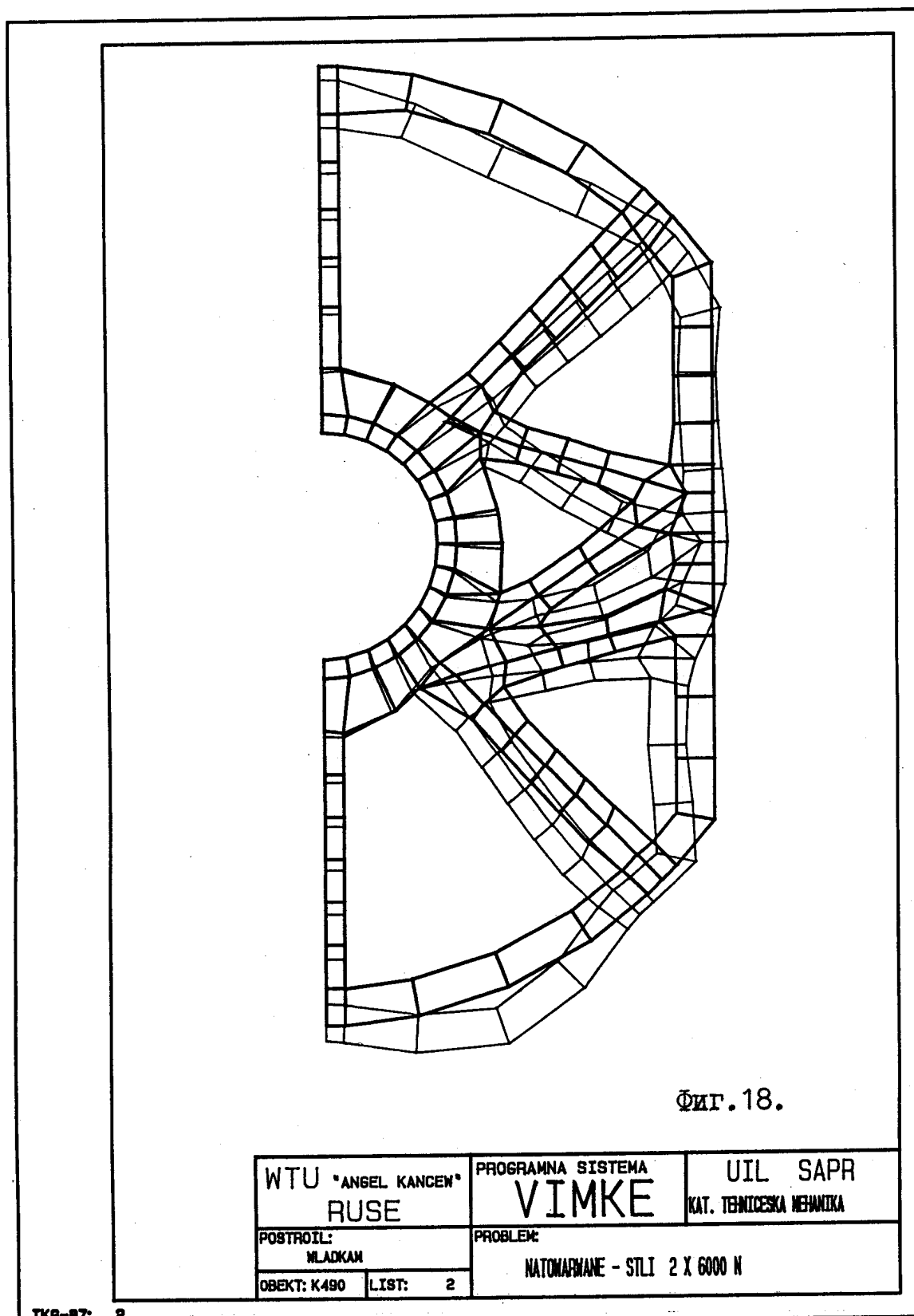
ОБОБЩ. ПРЕМЕСТВАНЕ	МИНИМАЛНО	ВЪЗЕЛ	МАКСИМАЛНО	ВЪЗЕЛ
U	-0.68225E-01	49	0.63951E-01	465
V	-0.34680E-01	217	0.31899E-01	58
W	-0.80570E-02	24	0.21845E-01	57
FIX	-0.31920E-03	57	0.88270E-04	217
FIY	-0.16378E-03	68	0.13730E-03	457
FIZ	-0.19749E-03	63	0.10896E-03	31

ОБОБЩЕНИ СИЛИ

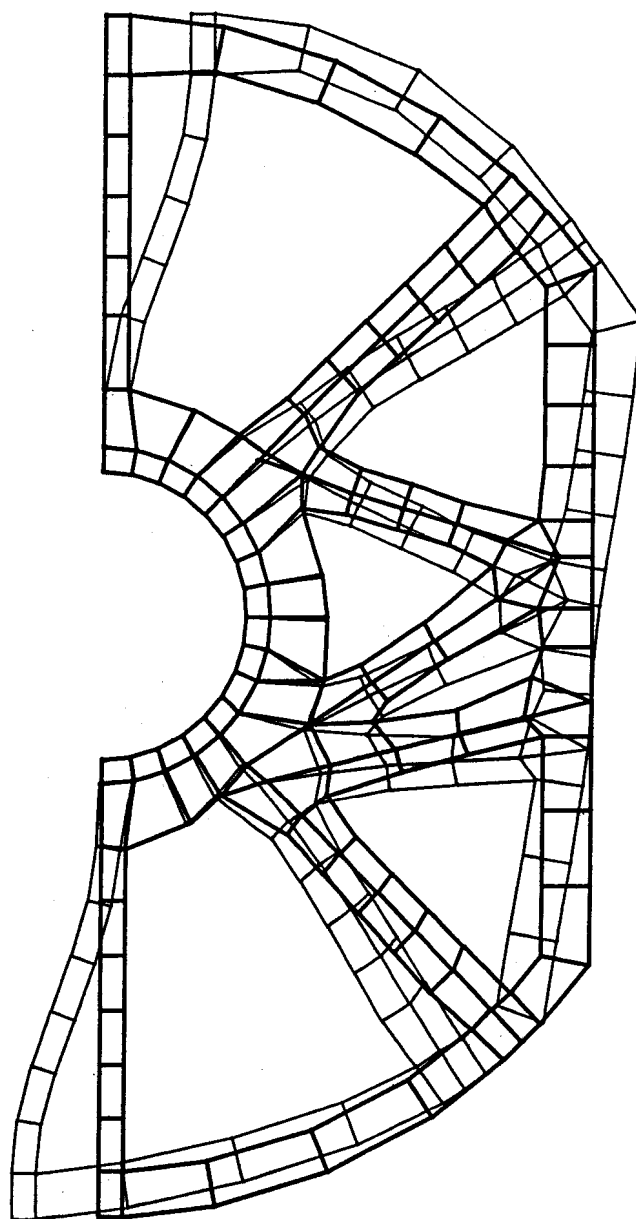
ОБОБЩ. СИЛА	МИНИМАЛНА	ВЪЗЕЛ	МАКСИМАЛНА	ВЪЗЕЛ
FX	-7334.8	134	6687.9	147
FY	-20019.	217	3619.6	241
FZ	-199.47	340	536.88	147
MX	-4904.2	46	647.10	162
MY	-21497.	7	23055.	27
MZ	-16160.	7	23705.	440

НАПРЕЖЕНИЯ (РАЗРЕЗНИ УСИЛИЯ)

НАПРЕЖЕНИЕ (Р.У.)	МИНИМАЛНО	ЕЛЕМЕНТ	МАКСИМАЛНО	ЕЛЕМЕНТ*
SIGXГ	-16.334	311	13.351	176
SIGYГ	-15.397	360	12.956	362
TAUXYГ	-4.7509	327	4.5818	324
TZXCP	-2.1732	176	2.2556	311
TYZCP	-1.1552	241	1.3032	160
SIGXA	-14.760	176	15.319	311
SIGYA	-16.504	328	13.931	142
TAUXYA	-4.8166	362	4.0184	441
SIGMAXГ	-9.1814	352	13.935	362
SIGMING	-16.346	311	7.7007	362
ALFAG	0.73448E-01	403	179.97	252
SIGMAXA	-11.929	328	15.412	311
SIGMINA	-16.619	328	6.1651	311
ALFAA	0.26673E-01	92	179.98	303
SIGE	0.55585E-02	295	19.819	328
KS	18.164	328	64766.	295



Фиг.18. Характер на деформацията на ЕРФЕ-2 (диск) при натоварване на ЕРФЕ-1 (лост) със сила 6000 Н, получени и построени непосредствено от ЕИМ след изчисления с програма "VIMKE".



Фиг. 19.

WTU "ANGEL KANCEW" RUSE		PROGRAMNA SISTEMA VIMKE	UIL SAPR KAT. TEHNICHESKA MEHANIKA
POSTROIL: MLADKAN		PROBLEM: NATOVARVANE - MOMENT 40000 N.M	
OBEKT: K490	LIST: 3		

Фиг. 19. Характер на деформацията на ЕРФЕ-2 (диск) при натоварване с двойна сила от 20000 Н, получени и построени непосредствено от ЕИМ след изчисления с програма "VIMKE".

 * BTY-PYCE * УИЛ С А П Р * ЦЕНТРАЛНА ПРИЗМА

 * РЕШЕНИЕ 1

МАТРИЦАТА НА СЪОТВЕТСТВИЕ Е КАТАЛОГИРАНА ПОД ИМЕ CP01.VMS

КООРДИНАТИТЕ НА ВЪЗЛИТЕ СА КАТАЛОГИРАНИ ПОД ИМЕ CP01.VXY

ХАРАКТЕРИСТИКИТЕ СА КАТАЛОГИРАНИ ПОД ИМЕ CP01.VNR

РЕЗУЛТАТИ 1

ЕКСТРЕМНИ СТОЙНОСТИ НА ПРЕМЕСТВАНИЯ ВЪЗЛОВ СИЛИ И НАПРЕЖЕНИЯ (РАЗРЕЗНИ УСИЛИЯ) =====

ОБЩЕЩЕНИ ПРЕМЕСТВАНИЯ

ОБЩЕЩ. ПРЕМЕСТВАНЕ	МИНИМАЛНО	ВЪЗЕЛ	МАКСИМАЛНО	ВЪЗЕЛ
U	-0.78887E-04	58	0.10374E-03	87
V	-0.13155E-04	278	0.27397E-04	75
W	-0.74411E-03	326	0.37896E-05	46

ОБЩЕЩЕНИ СИЛИ

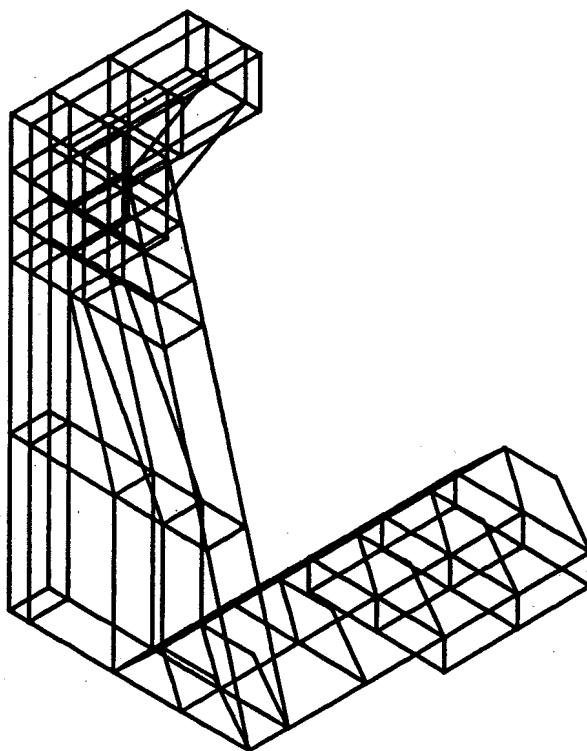
ОБЩЕЩ. СИЛА	МИНИМАЛНА	ВЪЗЕЛ	МАКСИМАЛНА	ВЪЗЕЛ
FX	-163.56	124	117.79	15
FY	-46.302	109	37.685	333
FZ	-53.333	333	102.06	15

НАПРЕЖЕНИЯ (РАЗРЕЗНИ УСИЛИЯ)

НАПРЕЖЕНИЕ (Р.У.)	МИНИМАЛНО	ЕЛЕМЕНТ	МАКСИМАЛНО	ЕЛЕМЕНТ
SIGX	-0.42365	8	0.30451	12
SIGY	-0.17523	8	0.12099	18
SIGZ	-0.25072	2	0.15858	18
TAUXY	-0.20270	18	0.13469	17
TAUZY	-0.65721E-01	18	0.82267E-01	38

TAUZX	-0.13308	8	0.75196E-01	35
SIG1	-0.14247	8	0.38611	18
SIG2	-0.17838	8	0.10769	18
SIG3	-0.47381	8	0.56265E-01	8
SIGE	0.00000E+00	30	0.39911	18
KS	0.00000E+00	1	999.99	30

РЕЗУЛТАТИТЕ СА КАТАЛОГИРАНИ ПОД ИМЕ CP01.VPT

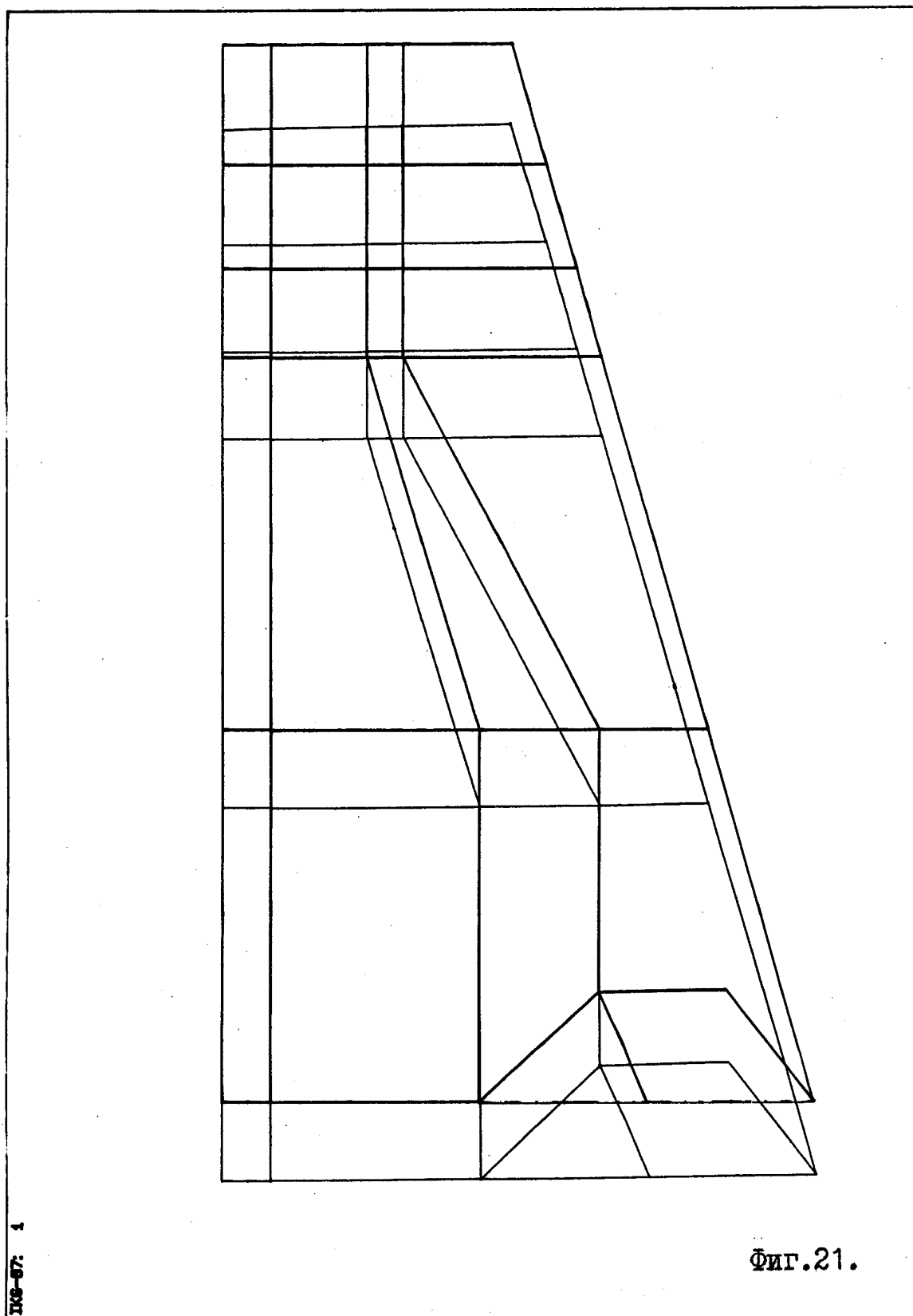


Фиг.20.

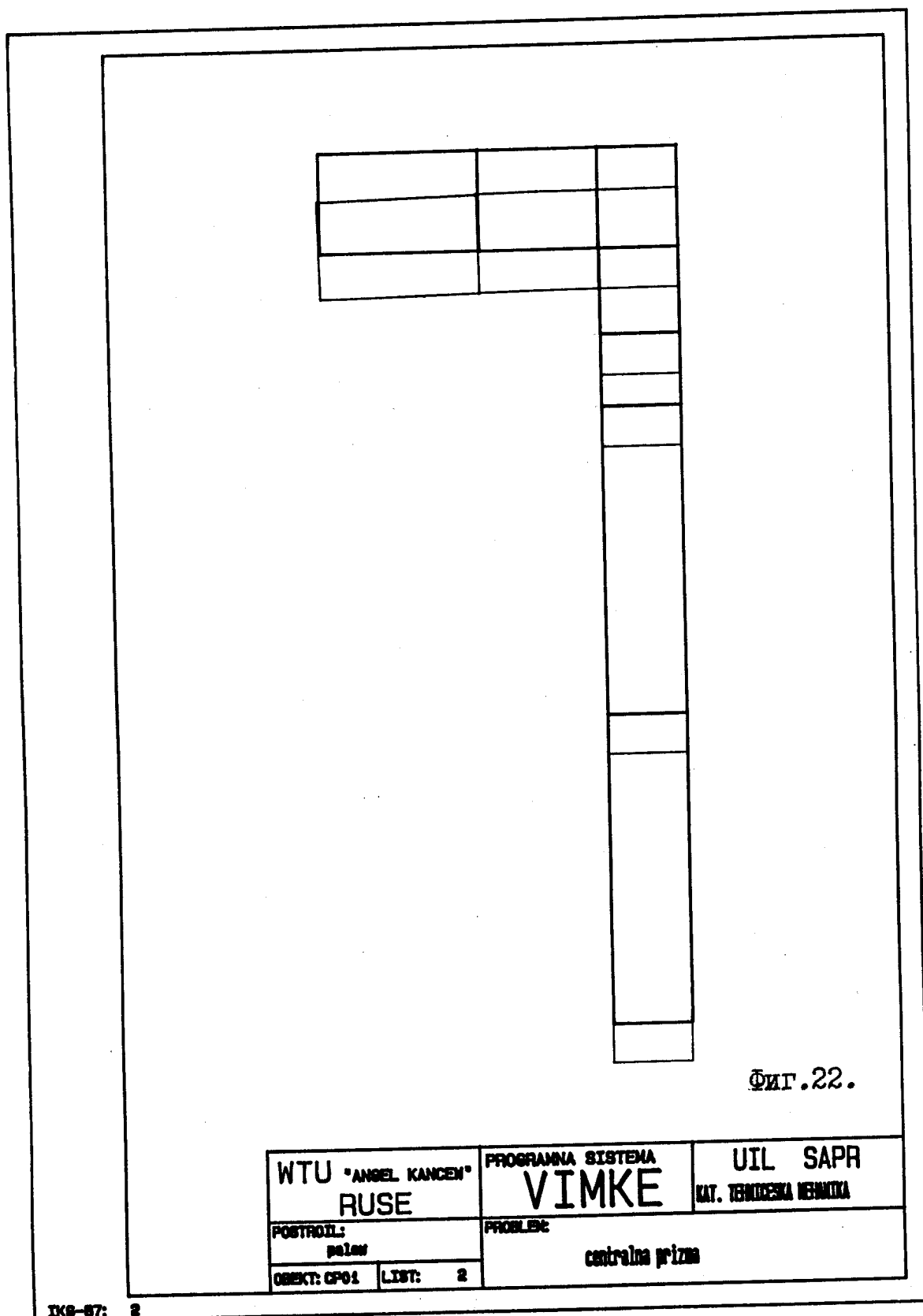
WTU "ANGEL KANCEN" RUSE		PROGRAMNA SISTEMA VIMKE	UIL SAPR KAT. TEMPERESKA NEIMNIKA
POSTROIL: palow		PROBLEME: centralna prizna	
OBJEKT: CP01	LIST: 2		

IXG-67: 2

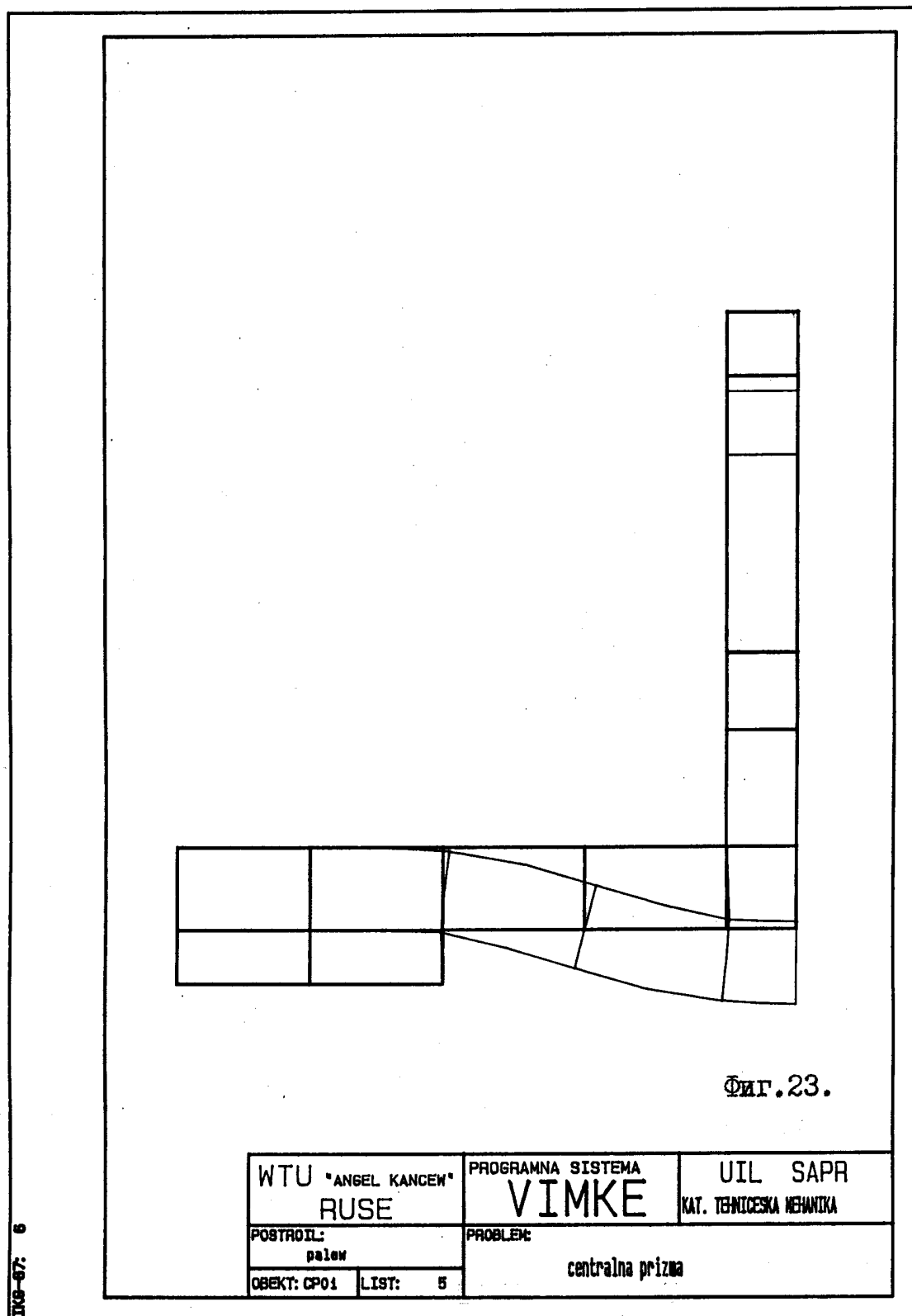
Фиг.20. Общ вид на една четвъртинка от централната стойка.



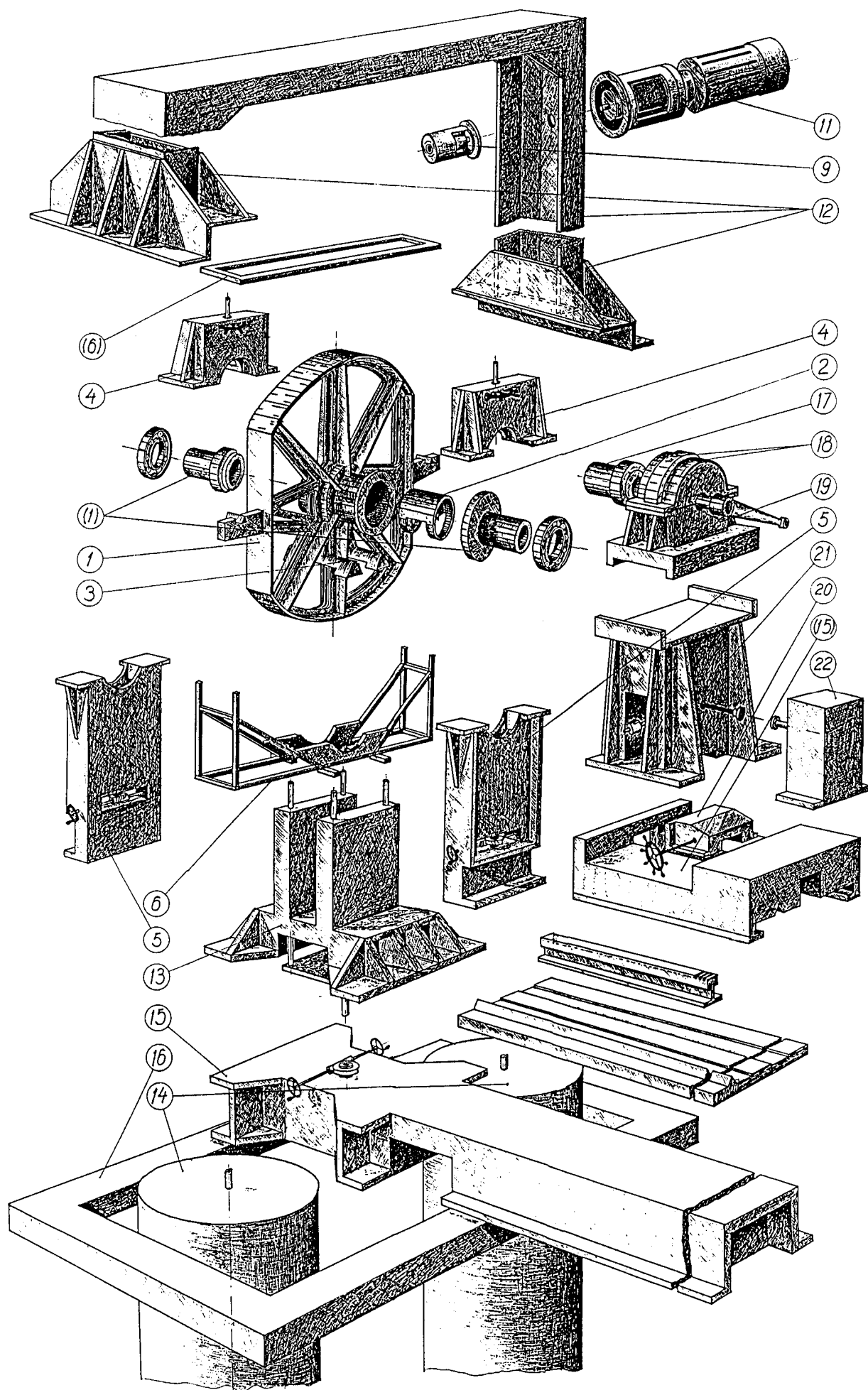
Фиг.21. Проекция на деформирано състояние на една четвъртинка от централната стойка.



Фиг.22. Втора проекция на деформирано състояние на една четвъртинка от централната стойка.



Фиг.23. Трета проекция на деформирано състояние на една четвъртинка от централната стойка.



УТВЪРЖДАВАМ:



ПРОТОКОЛ № 12

Днес 14.12.1988 се състоя заседание на специализирания състав по "Линейно-ъглови и механични измервания"

На вниманието на съвета бе представен отчет по договор № 22/87 етап II 2.2 "Създаване на системно-техническа и конструкторска документация и опитен образец на уредба за измерване на въртящ момент от сила".

Членовете на съвета бяха запознати с двете рецензии. След станалите разисквания на представения отчет съветът

РЕШИ

1. Приема етапа и договора за завършени и дава висока оценка на колектива-разработчик.

2. Предлага на ръководството на Комитета по качеството да изплати на разработчика сумата съгласно договора.

3. В съответствие с т.6"д" от договора предлага на разработчика да представи проект на нов договор за продължаване на работата в съответствие с предварително утвърденото задание и план-программа. Новият договор да включва задължително следните клаузи:

- проект за пълна автоматизация на еталонната уредба;
- разработване на експлоатационна и ремонтна документация;
- икономическа обосновка.

4. Предлага на двамата рецензенти да се изплатят следните суми:
на доц. П. Бързаков - 120 лв. /сто и двадесет лв./
на ст.н.с. М.Миховски - 60 лв./шестесет лв./

На заседанието присъствуваха:

И.Захариев-председател и членове Г.Балъзов, Е.Грозева, М.Ширкова, К.Колев, доц.Х.Михайлов, доц.П.Бързаков, В.Пресолски и Д.Илиев.

ПРЕДСЕДАТЕЛ:

/И.Захариев/

НАЦИОНАЛЕН МЕТРОЛОГИЧЕН ЦЕНТЪР
КЪМ КОМИТЕТА ПО КАЧЕСТВОТО
=====

О Т З И В

за дисертационният труд на инж.
Димитър Иванов Утев "Методи и
средства за измерване на линей-
ни премествания и въртящи моменти
от сили"

Разработеният дисертационен труд засяга важни въпроси от теори-
ята и особено от практиката на измерването на механични величини – сили
и моменти. За системата на Държавната метрологична служба в рамките на
Комитета по качеството беше решен важен за измервателната практика проб-
лем посредством описания в дисертацията уред за проверка на динамомет-
рични ключове. Оригинално решение на конструкцията и метода беше защи-
тено и чрез авторско свидетелство. Метрологичната атестация на израбо-
тения уред потвърди напълно техническата и функционалната му годност за
целите, за които е предназначен и той беше утвърден за използване като
образцово средство за измерване в центъра по качеството в град Плевен.
Общата компоновка на уреда го прави перспективен за внедряване и в
останалите центрове по качеството след въвеждане на някои изменения в
силозадаващия възел. Внедряването му в работата на центъра по качест-
вото в град Плевен осигури достоверност на показанията на динамометрич-
ните ключове в Ловешка област.

Твърде важна от практическа гледна точка е описаната в дисер-
тационния труд еталонна уредба за възпроизвеждане и измерване на вър-
тящ момент от сила. Разработването и създаването на държавни еталони
за единиците на физичните величини е задача с национално значение,
поради което работата по посочената уредба е включена в държавния план
по стандартизация и метрологично осигуряване, който се координира и

контролира от Комитета по качеството. В дисертационния труд са дадени подробни описания на теоретичната постановка, идейния проект и общата структурна схема на еталона за въртящ момент. Задълбоченото разработване на идейния проект е довело до оригинално решение на основния възел – моментоформиращото устройство, за което е подадена заявка за изобретение. Идеята за създаването на т.нар. "диско-лост" се оказва твърде благодарна и навлизайки в подробности относно нейните измервателни възможности дисертанта е установил 6 различни по своите параметри и обхвати начина на възпроизвеждане на въртящия момент. В някои източници се описват подобни еталонни уредби, но предложената в дисертацията решава по принципино нов начин въпроса за формиране на еталонния въртящ момент. Идеята за създаване на "диско-лост" дава възможности за усъвършенствуване при практическата реализация чрез въвеждането на въздушни опори на диска. Силонатоварващото устройство към еталонната уредба може да бъде използвано без съществени промени и за други метрологични цели в областта на измерване на сила.

Предложеният дисертационен труд дава съществен практически принос в областта на измерване на механичен въртящ момент и сила и част от изложените в него идеи вече намериха реално приложение.

Предлагаме на уважаваният Специализиран научен съвет да приеме и оцени с висока оценка дисертационния труд на инж. Димитър Иванов Утев.

ДИРЕКТОР:

