

FRI-1.417-1-MEMBT-12

TESTING THE PRECISION OF THE MECHANISM FOR MEASURING THE LIQUID LEVEL<sup>11</sup>

**Mladen Petrov, PhD**

Department of Machine Tools & Manufacturing,

University of Ruse, Bulgaria

Tel.: +359 888138818

E-mail: mpetrov@uni-ruse.bg

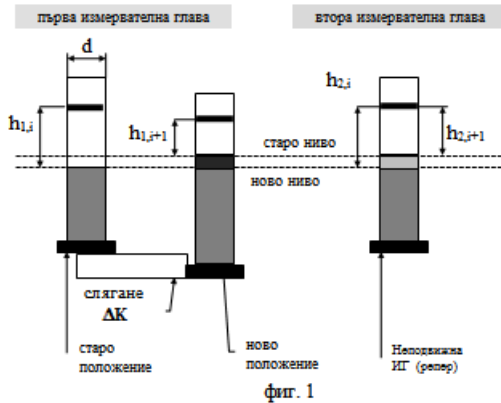
**Abstract:** The article presents the results of the study of the errors in the account of the level of fluids used in the hydrostatic systems for control of the vertical displacements of building constructions as a result of settling. The investigated mechanism consists of a pair reader - photodiode and a phototransistor that moves around a liquid-filled container. It is driven by a stepper motor, providing a displacement discretion of 0.005 mm. We present the sources of uncertainty and the results of the stud.

**Keywords:** Hydrostatic level, measurement of vertical movement of buildings

**ВЪВЕДЕНИЕ**

Хидростатичната система е предназначена да измерва изменението на неограничен брой точки спрямо хоризонта на сгради и инженерно-строителни съоръжения спрямо дълбок репер.

Принципът на действие се основава на закона на скачените съдове и факта, че при течностите липсват сили на триене при покой, следователно те се преместват (нивата на скачените съдове се изравняват) от сила, колкото и малка да е тя, стига да действа достатъчно дълго време, което осигурява висока чувствителност при измерване, която не зависи от разстоянието между измерваните точки [6, 9]. Контролира се нивото на течността  $h_{i+1}$  на всяка измервателна глава спрямо предишното му състояние  $h_i$  (фиг 1).



$\Delta K$  - промяна в положението на изследваната ИГ

$$\Delta K = (h_{1,i} - h_{1,i+1}) + (h_{2,i} - h_{2,i+1}) \quad [1]$$

$h_i$  - измерено ниво в съответната измервателна глава, в  $i$ -то измерване

$h_{i+1}$  - измерено ниво на репера в  $i+1$ -та измерване

Периодично се измерват промяната на положението на реперната точка от всяка измервателна глава спрямо общото ниво на хидростатичната система. По зависимост (1) се получава реалното вертикално положение на

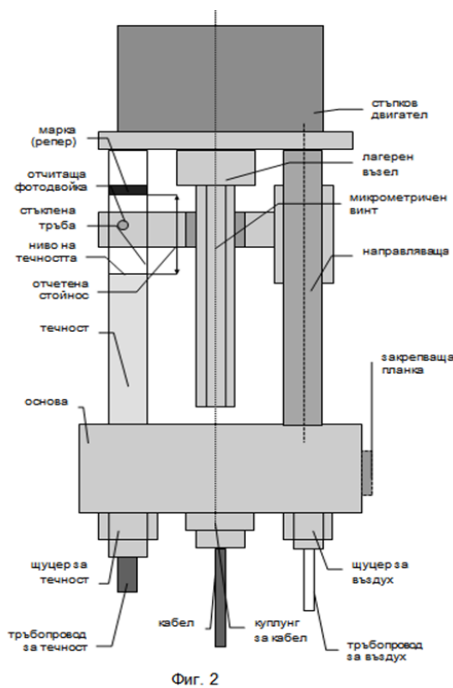
точката от фундамента спрямо неподвижната ИГ (репер).

**Описание на хидростатичната измервателна система**

Хидростатичната система за контрол на деформациите на сгради съдържа:

- измервателни глави (фиг. 2), свързани като скачени съдове и запълнени с течност. В тях има първичен преобразувател за измерване на относителното преместване на нивото на течността спрямо базова (отправна) точка във всяка измервателна глава, респективно измерване на отклонението спрямо хоризонта на всяка контролирана точка;

<sup>11</sup> Докладът е представен в секция Механика и машиностроителни технологии на 26 октомври 2018 с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТОЧНОСТТА НА МЕХАНИЗЪМ ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА НИВО НА ТЕЧНОСТ



Фиг. 2

- присъединителни тръбопроводи за връзка между измервателните глави, така че да образуват единна хидростатична система;
- система за индикация, обработка и съхранение на данните от измерването.

### Устройство (Фиг. 2)

Върху основата на измервателната глава са закрепени неподвижно два щупера, един за течност и един за въздух. В долният ѝ край е монтиран съединител за кабела, по който се обменя информация с отчитащата електронна система. Измервателната глава е защитена от външни въздействия чрез метален кожух. Хидростатичната система е изолирана от околната среда, като в нея е включен и допълнителен тръбопровод за въздух, който свързва ИГ и компенсационния съд. Отчитането на разстоянието от нивото на течността до постоянна (реперна) точка на ИГ става с прецизна оптико-електронна система. Стойността на промяната на нивото се получава след

усредняване на неколкостепенни последователни измервания. Измерването става винаги в една посока на движение на ел. двигателя, което компенсира грешката от евентуални хлабини в механичната система.

Метода на хидростатичното нивелиране се разделя на три главни клона: хидромеханично, хидродинамично и хидростатично нивелиране.

При хидромеханичното нивелиране измерването на нивото на работната течност се извършва косвено посредством измерване налягането, което оказва стълба течност в скачени съд. Големият му обхват на измерване за сметка на по-ниската точност (от порядъка на сантиметри го правят приложим главно в условията на геодезията и строителството.

При хидродинамичното нивелиране измерванията се провеждат в процеса на непрекъснато изменение нивото на РТ в скачените съдове. То обикновено се използва само в стационарни системи и точността му също не е висока - 2,5 до 0,1 mm.

Очевидно за въпросните цели, най-голямо значение има хидростатичното нивелиране, позволяващо измерване със значително по-висока точност - 0,1 до 0,01 mm на големи разстояния. Според някои автори точността на измерване в границите на практически срещаните се разстояния (до 200 м) не зависи от разстоянието. В литературата [6] се описват измервания, проведени на 4,8 км. разстояние с точност 0,76 mm, което означава че хидростатичното нивелиране напълно съответствува по точност на I клас геометрично нивелиране.

Едно от най-ценните качества на хидростатичното нивелиране е възможността за контрол на теоретически неограничен брой точки едновременно. Това се постига чрез свързване на множество измервателни глави (скачени съдове) в обща хидростатична система.

Точността на хидростатичните нивелири до голяма степен се определя от метода за измерване положението на нивото на работната течност. Най-общо той може да бъде: контактен или безконтактен. В зависимост от принципа лежащ в основата на метода, той може да бъде: визуален, електрически (резистивен), капацитивен, пиезоелектрически, честотен, фотоелектрически, оптичен, магнитен, акустичен, радиоактивен, топлинен и др. Въпреки, че според литературата най-простият визуален принцип не може да осигури висока точност, той често се използва в практиката поради простотата и надеждността.

Сред принципите, на които се изграждат системите за измерване положението на нивото, най-популярен е контактно-визуалният, при които отчитането става в момента на докосване на крайник до работната течност. Производител на такъв тип уреди (115ПС-I и 115ПС-II) е Московският завод "Калибр" [6].

За автоматизиране процеса на измерване, дистанционното снемане на информацията и намаляването на субективните грешки обуславят използването на електро-контактния принцип за отчитане [6], при които момента на докосване се регистрира чрез затваряне на електрическа верига през работната течност.

Познати са и хидростатични нивелири [6], при които определяне положението на нивото става чрез докосване до поплавък, но той не може да гарантира висока точност на измерване, макар че някои автори твърдят обратното. Известни са трудностите, които създават крайните контактуващи с работната течност, във връзка с мокренето и образуването на капка накрая на електрода след извличането му от течността. Същото важи и за поплавците, върху които остават капки от течността изменящи тяхната плаваемост. Ето защо се търсят решения чрез използването на безконтактни методи на измерване положението на нивото с помощта на индуктивни, капацитивни, фотоелектрически първични преобразуватели

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Работната течност е един от най-важните елементи на хидростатичните системи, тъй като нейните свойства до голяма степен определят метрологичните характеристики, функционалната годност и надеждност на уредите.

Изискванията към свойствата на работната течност могат да се разделят на две - общи и специфични, като вторите са свързани с конкретните особености на уреда (вида на чувствителния елемент) или условията на работа. Общите изисквания и препоръки са:

Вид на РТ	Изисквания (дадени в текста в ляво)								Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Вода дестилирана	10	6	3	6	8	5	10	10	68
тежка				7				8	67
морска				3	9			1	60
Алкохол	6	2	8	9	9	10	10	6	60
етанол	9							4	61
метанол	4							4	56
денат. спирт	5							8	61
50% етанол	8	6	8					8	68
Живак	0	10	1	9	10	10	10	1	51
Етилен гликол	7	8	9	10	7	10	8	6	61
Керосин	7	3	7	10	9	10	7	9	61
Глицерин	10	9	10	10	1	10	8	6	64
50% с вода					5		7	7	68
Тетрахлорметан	7	1	8	10	8	10	8	7	58
Перхлоретилен	8	3	7	10	9	10	8	6	61
50% изооктан и 50% перхлоретилен	8	2	8	9	9	10	8	6	60
Тулуол	8	2	6	9	8	10	7	6	56
Изооктан	8	3	8	9	9	10	7	7	61
Бензол	7	1	6	9	9	10	8	7	67
Анилин	7	7	6	9	9	10	8	7	63
Етилийодид	6	6	5	9	9	10	8	1	56

- 1) Да не бъде опасна за човека.
- 2) Изменението на плътността ѝ при промяна на температурата да бъде минимално, т.е. да има минимален коефициент на обемно разширение за да се намали температурната грешка.
- 3) Да не е агресивна към контактуващите с нея материали.
- 4) Да бъде стабилна достатъчно дълго време, т.е. да не отделя утайки, газове и други вещества, които да усложняват експлоатацията и намаляват надеждността.
- 5) Да бъде с кинематичен вискозитет и плътност, които да гарантират инертност при измерване не по-голяма от допустимата.
- 6) Да има достатъчно ниска температура на замръзване.
- 7) Да не задържа пяна.
- 8) Да е достатъчно евтина.

Известни са множество работни течности за

хидростатично нивелиране. В литературата е обърнато внимание на свойствата на най-често използваните: вода, спирт и живак. Все още не е намерена работната течност, която да отговаря напълно на всички изисквания, следователно тя трябва да се подбира в зависимост от конкретните условия на работа. За целта, използвайки справочни данни е създадена таблица , в която е оценено чрез ранжиране по десетобална система, доколко всяка от работните течности отговаря на горните изисквания.

Настоящата статия визира изследване на отчитащото устройство за положението на нивото на работната течност [3]. Избраният метод на отчитане е безконтактен, с използването на двойка фотодиод-фототранзистор за засичане на мениска образуван на

границата флуид – въздух. Поради различните оптични свойства на течността и въздуха, лъчите излъчвани от фотодиода в момента на пресичане на мениска не попадат върху фототранзистора и се получава сигнал за „наличие на ниво“. Избраната работна течност е смес от дестилирана вода и етанол (виж в таблицата оценка 68) с добавки на повърхностно активни вещества, за намаляване на влиянието на мокренето върху стъклената епруветка, в която се намира течността. Наличие на замърсяване или неравности по вътрешната стъклена повърхност применя формата и големината на мениска и води до съществена грешка при отчитане на нивото от фотодвойката. Транслацията на фотодвойката по оста на стъклената епруветка се извършва от двоица винт и гайка със стъпка 1 mm, а ротацията на винта се осъществява от стъпков двигател изпълняващ 200 стъпки за оборот. Този механизъм осигурява дискретност на придвижване от 0,005 mm за една стъпка на двигателя. При отчитането на нивото на течността се броят стъпките на двигателя от засичането на неподвижен репер (тъмна ивица на стъклото в зоната без течност), от фотодвойката, до получаване на сигнал от засичането на нивото на течността от фотодвойката при промяна на оптичните свойства при попадане в зоната с течност.

За оценка на повторемостта на при засичане на разстоянието между мениска и неподвижния репер са извършени 100 повторение в една точка (20 mm от репера до нивото на течността. Построената хистограма на разпределение показва ясно изразен нормален закон на разпределение на данните от измерването със средноквадратично отношение от 0,02 mm. Това дава възможност, при съставяне на бюджета на неопределеност на измерването, елементът на неопределеност идващ от засичането на нивото на течността да се вземе с вече познат интервал на неопределеност от  $\pm 4 \mu\text{m}$ . Един от начините за намаляване на тази неопределеност е извършване на няколко повторни измервания. Известно е, че тогава случайната грешка намалява с квадратния корен на броя повторения ( $1/\sqrt{n}$ ). В случая, в алгоритъма реализиран от управляващия контролер са предвидени 5 повторения.

За оценка на равноточността на измерване в обхвата (100 mm на измервателната глава) са извършени по 10 повторни измервания в 5 равномерно разположени точки от обхвата [1,4,7,10,11].

Резултати от проверката в обхвата														
Размер на еталона в mm	Грешка на прав ход $\Delta_{nx}$ в $\mu\text{m}$					$\bar{\Delta}_{nx}$ $\mu\text{m}$	$R_{nx}$ $\mu\text{m}$	Грешка на обратен ход $\Delta_{ox}$ в $\mu\text{m}$					$\bar{\Delta}_{ox}$ $\mu\text{m}$	$R_{ox}$ $\mu\text{m}$
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5		
	20	10	20	20	10			0	12	20	0	10		
40	20	30	30	20	20	24	10	10	10	0	0	20	8	20
60	20	30	40	40	20	30	20	10	0	30	0	20	12	30
80	30	30	40	40	40	36	10	10	10	10	20	20	14	10
100	40	40	30	30	40	36	10	20	20	20	10	10	16	10
$\bar{R} = \frac{\bar{R}_{nx} + \bar{R}_{ox}}{2} =$					15	$\bar{\Delta}_{nx}$	$\bar{R}_{nx}$	$\Delta_c = \frac{\bar{\Delta}_{nx} + \bar{\Delta}_{ox}}{2} =$					$\bar{\Delta}_{ox}$	$\bar{R}_{ox}$
$\sigma = \frac{\bar{R}}{2,236} =$					6,7									
Случайна грешка $\Delta^0 = \pm 2\sigma$						$\pm 13,4$		Систематична грешка $\Delta_c$					19,2	
Гранична грешка $\Delta_\Sigma = \sqrt{\Delta^0^2 + \Delta_c^2}$						23,4		Заклучение						

Математическата обработка на данните се извършва в съответствие с БДС 11316-83 "Контрол статистически на качеството. Обработка на данни, получени при опити и наблюдения" и МУ 887-81 "Преки измервания чрез многократни наблюдения".

## ИЗВОДИ

В резултат на извършеният анализ на данните от изследването са предвидени конструктивни, технологични и алгоритмични решения за намаляване на грешката при измерване и запазване на метрологичните характеристики в дълъг период от време:

- Хидростатичната система е изолирана от околната среда, като в нея е включен и допълнителен тръбопровод за въздух;

- Отчитането на разстоянието от нивото на течността до постоянна (реперна) точка на ИГ става с прецизна оптико-електронна система;

- Стойността на промяната на нивото се получава след усредняване на неколкократно последователни измервания, след което се пресмята и тяхното средноквадратично отклонение и се сверява с предварително зададено;

- В алгоритъма за обработване на данните от измерването са включени математически и статистически процедури, чрез които се оценява не само деформацията в контролираните точки, но и се компенсират грешката на измерване и се проверява достоверността на получените резултати.

В статията е показана само една реализация на представената методика. Изследвани са 6-те измервателни глави на една хидростатична система за контрол на сляганията на сгради. Получените резултати за граничната грешка на системата за отчитане са в границите на 0,02-0,035 mm, което удовлетворява зададената от потребителя грешка на измерване на сляганията непревишаваща 0,1 mm. Видно от зависимост (1) е, че грешката при измерване с хидростатични системи е функция на четири отделни отчета. Получените резултати от това изследване ще послужат в последствие за пресмятане на общата неопределеност на измерване.

## REFERENCES

[1] BDS 8.326-84, Dürzhavna sistema za osiguryavane edinstvoto na izmervaniyata. Metrologichno osiguryavane na nestandardiziranite sredstva za izmervane. Osnovni polozheniya.

[2] BDS 8.001-84 DSOEI, Dürzhavni izpitvaniya na sredstvata za izmervane. Organizatsiya i red za provezhdane.

[3] BDS 8.202-77 DSOEI, Niveliri. Metodi za proverka.

[4] BDS 14653-78 Prilozhna statistika. Pravila za otsenka na anomalnost na rezultatite ot nablyudeniya.

[6] Vasyutinskiĭ I. YU., "Gidronivelirovanie", Nedra, M., 1983.

[7] Metodicheski ukazaniya 887-81 Preki izmervaniya chrez mnogokratni nablyudeniya. Metodi za obrabotvane na rezultatite [8] Bentley J, Priciples of Measurement systems, Longman Scientific&Technical, 1988

[9] EA 4/07 Traceability of Measurementq 1995

[10] EA 4/02 Expresion of the Uncertrainty of Measuremeny in Calibration, EA, 1999

[11] EA 4/16 EA guidelines on the expression of uncentrainty in quantative testing, 2003

Благодарност: Реализацията на тази статия е благодарение на финасирането по проект: ФНИ МТФ-3