Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, XXXVII, № 3, 71—75, 1984

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК: 528.422.1

А. М. БАРХУДАРЯН

ТЕОРИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

Способ гидродинамического нивелирования, как один из методов геодезических измерений положения наблюдаемых точек по высоте, в последнее время находит широкое применение в инженерной практике. Он может быть использован для изучения вертикального движения (перемещения) земной коры в местах геологических разломов, тектонических трещин или в рудничных районах.

Идея метода поясняется рисунком 1. На нивелируемых точках 1, 2,..n устанавливаются одинаковые сосуды (измерительные головки), в которых имеются неподвижные сигнализаторы-электроды, каждый из которых линией электрической связи соединен с блоком управления БУ. Сосуды и уравнительный бак УБ соединены последовательно друг с другом трубопроводом.

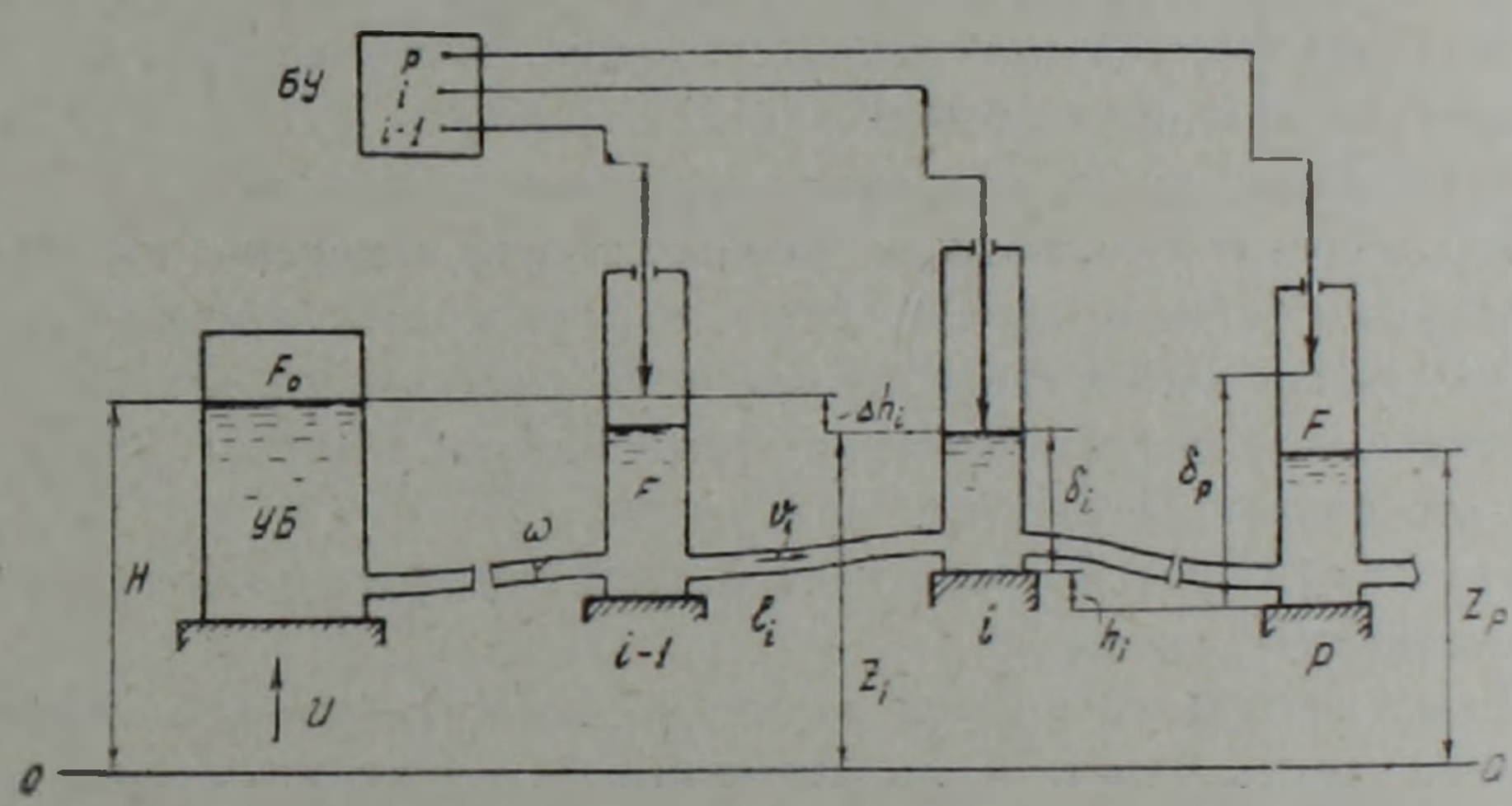

Рис. 1.

Идея этого метода заключается в получении стационарного (установившегося) движения жидкости в системе, состоящей из частично заполненных токопроводящей жидкостью сообщающихся сосудов и в дистанционном съеме информации о положении уровня жидкости в сосудах. В уравнительном баке, начиная с момента времени $t=0$, производится непрерывный подъем уровня жидкости, который достигается разными способами, в частности, при помощи равномерного поднятия уравнительного бака. Вследствие этого поднимается уровень в уравнительном баке и создается движение жидкости в системе гидронивелира.

Как показано в работах [2, 3], сначала в системе движение жидкости будет неустановившимся, но наступит момент времени t_0, после которого движение можно практически считать установившимся. Начальный

уровень выбирается так, чтобы контакт жидкости с любым сигнализатором происходил после получения установившегося движения жидкости в системе.

При контакте жидкости с любым из сигнализаторов по линии электрической связи в блок управления передается электрический импульс, под воздействием которого фиксируется показание соответствующего счетчика импульсов. Этими же показаниями определяются превышения наблюдаемых (контролируемых) точек относительно репера.

В работах [1, 4] для определения превышения приведена формула

$$h_i = H_i - (\delta_i + \Delta h_i), \qquad (1)$$

где h_i — превышение площадки, где установлен i-ый сосуд, относительно репера; δ_i — высота острия сигнализатора от основания сосуда; Δh_i — потери энергии жидкости в участке трубопровода, соединяющего уравнительный бак с i-ым сосудом; H_i — высота уровня жидкости в уравнительном баке относительно репера в момент контакта жидкости с острием сигнализатора i-ого сосуда.

Согласно этому способу для определения превышения необходимо в момент касания жидкости с любым сигнализатором измерить уровень H_i жидкости в уравнительном баке.

Во всех до сих пор известных способах гидродинамического нивелирования вопрос измерения высоты уровня жидкости в баке и вопрос определения потерь энергии жидкости не решены и, по-видимому, это практически осуществить будет нелегко. Поэтому существующие гидродинамические системы нивелирования (СГДН) используются лишь для определения смещений (т. е. изменения превышений) точек.

При измерении смещений нет необходимости измерения высоты уровня H_i в уравнительном баке, а потери энергии жидкости между сосудами при всех циклах измерений принимаются одинаковыми. Однако эти потери отличаются за счет изменения температуры и других факторов системы, что влияет на точность измерений.

В работе [2] рассмотрена возможность учета влияния температуры при определении смещений.

Целью настоящей работы является рассмотрение возможности определения высоты уровня в уравнительном баке в любой момент времени и потерь энергии в рассматриваемых участках трубопровода, что даст возможность при помощи существующих систем СГДН определить превышения контролируемых точек.

Рассмотрим случай разомкнутой системы гидродинамического нивелирования (рис. 2).

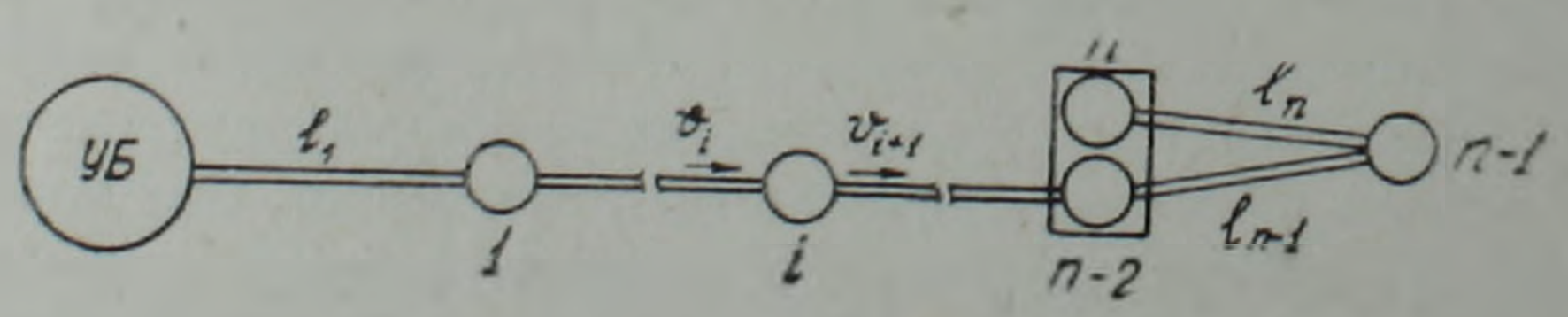

Рис. 2.

Предположим имеются n—2 контролируемых и одна реперная точка. Пусть на реперной точке установлен сосуд p. Для осуществления постав-

ленной цели на предпоследней (n-2)-ой опоре установлены два сосуда, очередной (n-2)-ой и последний n-ый сосуд (рис. 2).

В работах [3, 4, 5] показано, что в системах гидродинамических нивелиров можно пренебречь как разностью кинетических энергий, так и инерцией жидкости, находящейся в сосудах. Тогда при постоянном диаметре трубопровода, а также при одинаковом атмосферном давлении над уровнями жидкости во всех сосудах, уравнения нестационарного движения будут:

$$\begin{cases} H = z_1 + cl_1v_1 + \dfrac{\alpha_0}{g} \cdot \dfrac{d}{dt}(l_1v_1) \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ H = z_2 + c\sum\limits_{j=1}^{i} l_jv_j + \dfrac{\alpha_0}{g}\dfrac{d}{dt}\sum\limits_{j=1}^{i} l_jv_j \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ H = z_n + c\sum\limits_{j=1}^{n} l_jv_j + \dfrac{\alpha_0}{g}\dfrac{d}{dt}\sum\limits_{j=1}^{n} l_jv_j, \end{cases} \tag{2}$$

где H-высота уровня жидкости в уравнительном баке относительно плоскости сравнения, проходящей через реперную точку; z_i— высота уровня жидкости в i-ом сосуде; l_i— длина трубы соединяющей i-ый сосуд с предыдущим; v_i—средняя скорость движения жидкости в данном участке трубопровода; d_0— диаметр трубопровода; ν-кинематический коэффициент вязкости жидкости; β-коэффициент, учитывающий долю местных сопротивлений; α_0— коэффициент, учитывающий неравномерное распределение скорости в живом сечении трубы;

$$c = (1+\beta)\frac{32\nu}{gd_0^2} \tag{3}$$

и характеризует потери энергии, отнесенной к единице длины при единичной средней скорости движения жидкости.

Уравнения неразрывности будут:

$$\begin{cases} \dfrac{dH}{dt} = U - \dfrac{\omega}{F_0}v_1 \\ \dots\dots\dots\dots \\ \dfrac{dz_i}{dt} = (v_i - v_{i+1})\dfrac{\omega}{F}, \\ \dots\dots\dots\dots \\ \dfrac{dz_n}{dt} = v_n\dfrac{\omega}{F} \end{cases} \tag{4}$$

где ω — площадь живого сечения трубопровода; F_0 — площадь сечения уравнительного бака; F — площадь сечения сосуда; U — скорость поднятия уравнительного бака.

Из системы (2) следует:

$$\frac{d}{dt}\left(H\frac{F_0}{F} + z_1 + z_2 + \dots + z_n\right) = U\frac{F_0}{F}. \tag{5}$$

Если в начале измерений, т. е при равновесии жидкости, уровень в системе находился на высоте z_0, из (5) получим:

$$H\frac{F_0}{F}+\sum_{j=1}^{n} z_j = U\frac{F_0}{F}t+z_0\left(\frac{F_0}{F}+n\right). \tag{6}$$

Скорости поднятия уровня жидкости во всех сосудах и в уравнительном баке, при установившемся движении одинаковы и, как следует из (5), будет:

$$\frac{dH}{dt}=\frac{dz_i}{dt}=U\frac{F_0}{F_0+nF}. \tag{7}$$

Учитывая (5), из системы (2) получим:

$$H=z_0+\frac{F_0Ut}{F_0+nF}+\frac{F}{F_0+nF}\left[c\sum_{j=1}^{n} l_j v_j (n-j+1)+\right.$$

$$\left.+\frac{x_0}{g}\frac{d}{dt}\sum_{j=1}^{n} l_j v_j (n-j+1)\right]. \tag{8}$$

После стационаризации движения имеем:

$$H=z_0+\frac{F_0Ut}{F_0+nF}+\frac{cF}{nF+F_0}\sum_{j=1}^{n} l_j v_j (n-j+1). \tag{9}$$

Учитывая, что при установившемся движении скорости жидкости в отдельных участках будут:

$$v_j=\frac{F}{\omega}\cdot\frac{UF_0}{F_0+nF}(n-j+1), \tag{10}$$

и обозначая

$$A=\frac{cUF^2F_0}{\omega(nF+F_0)^2}\sum_{j=1}^{n} l_j (n-j+1)^2,$$

получим:

$$H=z_0+\frac{UF_0}{F_0+nF}t+A. \tag{11}$$

Суммарные потери энергии между уравнительным баком и i-ым сосудом определятся по формуле:

$$\Delta h_i=c\frac{F}{\omega}\cdot\frac{UF_0}{F_0+nF}\sum_{j=1}^{i} l_j (n-j+1). \tag{12}$$

Время поднятия бака до контакта жидкости с любым сигнализатором

$$t_i=\frac{N_i}{N_0}, \tag{13}$$

где N_i—показание соответствующего счетчика, N_0—число импульсов, поступающее на счетчики за единицу времени.

Учитывая, что идентичные сосуды n и n-2 установлены на одной и той же отметке, для определения значений параметра c получается формула:

$$c=\frac{\omega}{F(l_n+2l_{n-1})}\left[\frac{N_n-N_{n-2}}{N_0}-\frac{(F_0+nF)(\delta_n-\delta_{n-2})}{UF_0}\right]. \tag{14}$$

Значение высоты начального уровня жидкости в системе можно определить при помощи показания счетчика, соединенного с сигнализатором сосуда, установленного на репере:

$$z_0 = \delta_p + c\frac{F}{\omega}\cdot\frac{UF_0}{F_0+nF}\sum_{j=1}^{p} l_j(n-j+1) - \frac{UF_0}{F_0+nF}\cdot\frac{N_p}{N_0} - A. \qquad (15)$$

Учитывая (11), (12), (13) и (15), для определения превышения точек из (1) получается формула:

$$h_i = \frac{F_0}{F_0+nF}\cdot\frac{U}{N_0}(N_i - N_p) - (\delta_i - \delta_p) -$$

$$- c\frac{F}{\omega}\cdot\frac{UF_0}{F_0+nF}\left[\sum_{j=1}^{n} l_j(n-j+1) - \sum_{j=1}^{p} l_j(n-j+1)\right]. \qquad (16)$$

Из (16) следует, что превышения контролируемых точек можно определить без измерения, или определения высоты уровня жидкости в уравнительном баке во время контакта жидкости с соответствующими сигнализаторами.

Приведенные теоретические исследования позволяют существующие системы гидродинамического нивелирования (СГДН) использовать для определения превышения точек. Эти исследования позволяют также при каждом замере (цикле измерений) учесть влияние изменения температуры жидкости.

Преимуществом предложенного метода является то, что он позволяет упростить процесс измерения и дает возможность при помощи одного замера определить превышения точек с исключением ошибок, связанных с изменением параметров системы.

Ереванский политехнический
институт

Поступила 28. IV. 1983.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 480906 (СССР). Способ гидродинамического нивелирования. Р. А. Мовсесян, И. А. Таплашвили, В. Н. Варданян. Опубл. в Б. И., 1975, № 30.
2. *Бархударян А. М., Мовсесян Р. А.* Учет влияния температуры на точность измерений при гидродинамическом нивелировании. Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, № 6, 1981.
3. *Бархударян А. М., Мовсесян Р. А., Трозян Р. Е.* Теория гидродинамического нивелирования для систем СГДН с поршневыми устройствами. Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, № 4, 1982.
4. *Мовсесян Р. А., Бархударян А. М.* Теоретические основы метода гидродинамического нивелирования. Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, № 1, 1976.
5. *Мовсесян Р. А., Бархударян А. М.* Ошибки гидродинамического характера в системах для гидростатического нивелирования с большим числом сообщающихся сосудов. Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, № 6. 1975.