

УДК 528.024.1

К. Р. ТРОЗЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЯ ТОЧЕК С ПОМОЩЬЮ
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

При рассмотрении гидродинамического нивелирования в точках Р. А. Мовсисяном, А.М. Бархударяном [2] были получены следующие уравнения движения жидкости:

$$\begin{aligned}
 z - z_1 &= \frac{L\omega^2}{2g} \left[\left(\frac{v - v_1}{F_1} \right)^2 - \left(\frac{u}{\omega} - \frac{v}{F} \right)^2 \right] + \frac{l}{g} \frac{dv}{dt} + \Sigma h \\
 z_1 - z_2 &= \frac{l_1}{g} \frac{dv_1}{dt} + \Sigma h_1 \\
 &\dots \dots \dots \\
 z_{n-1} - z_n &= \frac{l_{n-1}}{g} \frac{dv_{n-1}}{dt} + \Sigma h_{n-1}
 \end{aligned} \tag{1}$$

и уравнения неразрывности:

$$\begin{aligned}
 \frac{dz}{dt} &= u - \frac{\omega}{F} v \\
 \frac{dz_1}{dt} &= (v - v_1) \frac{\omega}{F_1} \\
 &\dots \dots \dots \\
 \frac{dz_{n-1}}{dt} &= (v_{n-2} - v_{n-1}) \frac{\omega}{F_1} \\
 \frac{dz_n}{dt} &= v_{n-1} \frac{\omega}{F_1}
 \end{aligned} \tag{2}$$

Как указано в работе [2], после определенного времени t_0 устанавливается стационарное движение и разность в уровнях в системе при непрерывном изменении горизонтов жидкости в сосудах остается постоянной, и уравнение движения жидкости принимают вид:

$$\begin{aligned}
 z - z_1 &= \frac{\alpha\omega^2}{2g} \left[\left(\frac{v - v_1}{F_1} \right)^2 - \left(\frac{u}{\omega} - \frac{v}{F} \right)^2 \right] + \Sigma h \\
 z_1 - z_2 &= \Sigma h_1 \\
 z_{n-1} - z_n &= \Sigma h_{n-1} \\
 &\dots \dots \dots \\
 z_{n-1} - z_n &= \Sigma h_{n-1}
 \end{aligned} \tag{3}$$

а уравнения неразрывности (2) остаются без изменения.

Из уравнения (3) следует, что разность в горизонтах жидкости соседних сосудов равна потере энергии на данном участке и так как эта разность не изменяется, то потери энергии также не меняются. Следовательно, скорость движения жидкости в трубопроводах остается постоянной во времени. А из уравнения неразрывности (2) следует, что скорость изменения уровня жидкости в сосудах также не меняется во времени и так как разность горизонтов жидкости в сосудах постоянна, то есть: $z - z_1 = \text{const}$, $z_1 - z_2 = \text{const}$, . . . , $z_{n-1} - z_n = \text{const}$, то

$$\frac{dz}{dt} - \frac{dz_1}{dt} = 0$$

$$\frac{dz_1}{dt} - \frac{dz_2}{dt} = 0$$

.

$$\frac{dz_{n-1}}{dt} - \frac{dz_n}{dt} = 0,$$

откуда следует, что:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{dz_1}{dt} = \frac{dz_2}{dt} = \dots = \frac{dz_n}{dt} \quad (4)$$

Иначе, скорости движения уровня жидкости в сосудах равны.

Из вышеизложенного следует, что линии энергии, пьезометрические линии и уровни в сосудах меняются равномерно, и эти линии перемещаются параллельно самим себе во времени.

При гидродинамическом нивелировании превышение нивелируемых точек принимают пропорционально разности отметок гидродинамических горизонтов жидкости в сосудах. Однако, изменения внешних факторов (температура, состав жидкости, сечения трубопроводов и др.) вызывают изменение потерь энергии (3), и, следовательно, меняется связь между разностью отметок и потерь энергии.

Цель настоящей работы заключается в определении абсолютного значения разности контакта сигнализаторов, а, следовательно, - отметки двух соседних точек независимо от изменения внешних факторов.

Полученные данные можно использовать не только для проектирования новых установок, но и для решения задач на действующих системах.

Для этого рассмотрим изменение линии энергии, пьезометрической линии и изменения отметок поверхности жидкости в сосудах для следующих случаев:

- 1) когда измерительный сосуд поднимается вверх с постоянной скоростью u ;
- 2) когда сосуд опускается вниз с той же скоростью u .

1. Сосуд поднимается вверх

Когда измерительный сосуд поднимается вверх со скоростью u ,

жидкость в системе движется слева направо (рис. 1). В этом случае уравнения движения жидкости будут иметь вид:

$$\begin{aligned}
 z - z_1 &= \Sigma h \\
 z_1 - z_2 &= \Sigma h_1 \\
 &\dots \dots \dots \\
 z_{n-1} - z_n &= \Sigma h_{n-1}.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

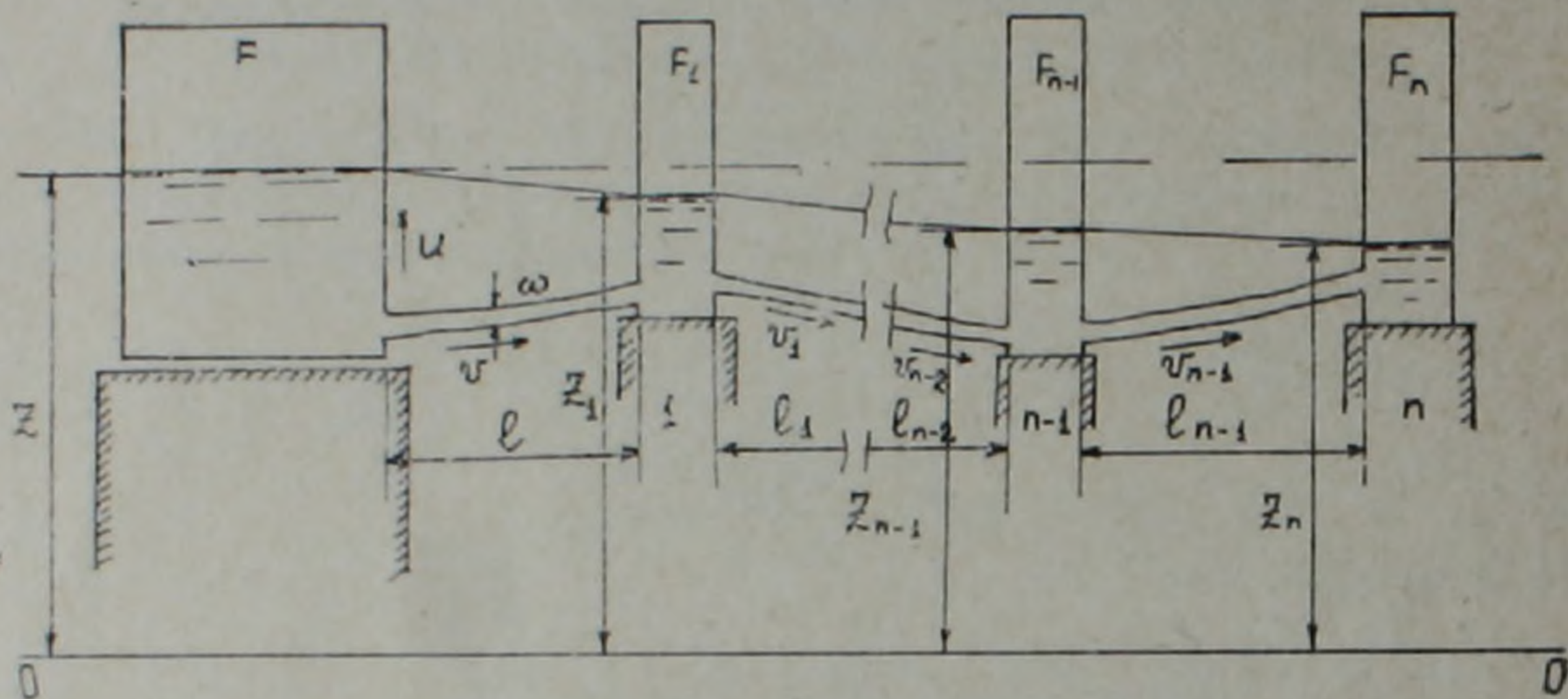


Рис. 1.

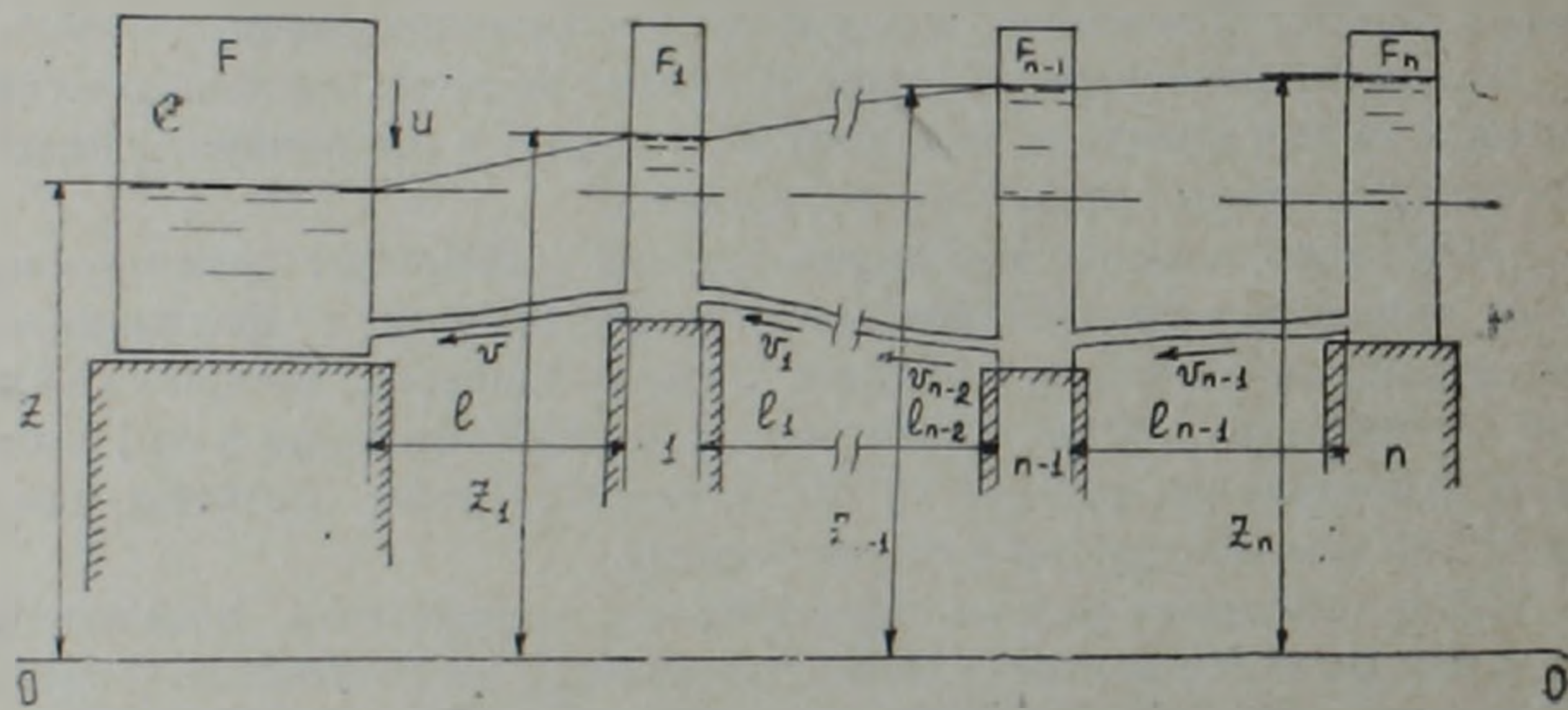


Рис. 2.

Расход в трубопроводе (n-1), согласно уравнению (2) будет:

$$Q_{n-1} = \frac{dz_n}{dt} F_n,$$

в трубопроводе (n-2):

$$Q_{n-2} = Q_{n-1} + \frac{dz_{n-1}}{dt} F_{n-1}$$

или

$$Q_{n-2} = \frac{dz_n}{dt} F_n + \frac{dz_{n-1}}{dt} F_{n-1}$$

Сопоставляя уравнения (9) и (5), видно, что разность горизонтов жидкости в сосудах в обоих случаях одинаковы, меняется только их знак.

Из уравнений неразрывности получим:

$$\begin{aligned}
 Q_{n-1} &= \frac{dz_n}{dt} F_n \\
 Q_{n-2} &= \frac{dz_n}{dt} F_n + \frac{dz_{n-1}}{dt} F_{n-1} \\
 &\dots \dots \dots \\
 Q_1 &= \frac{dz_n}{dt} F_n + \frac{dz_{n-1}}{dt} F_{n-1} + \dots + \frac{dz_2}{dt} F_2 + \frac{dz_1}{dt} F_1.
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

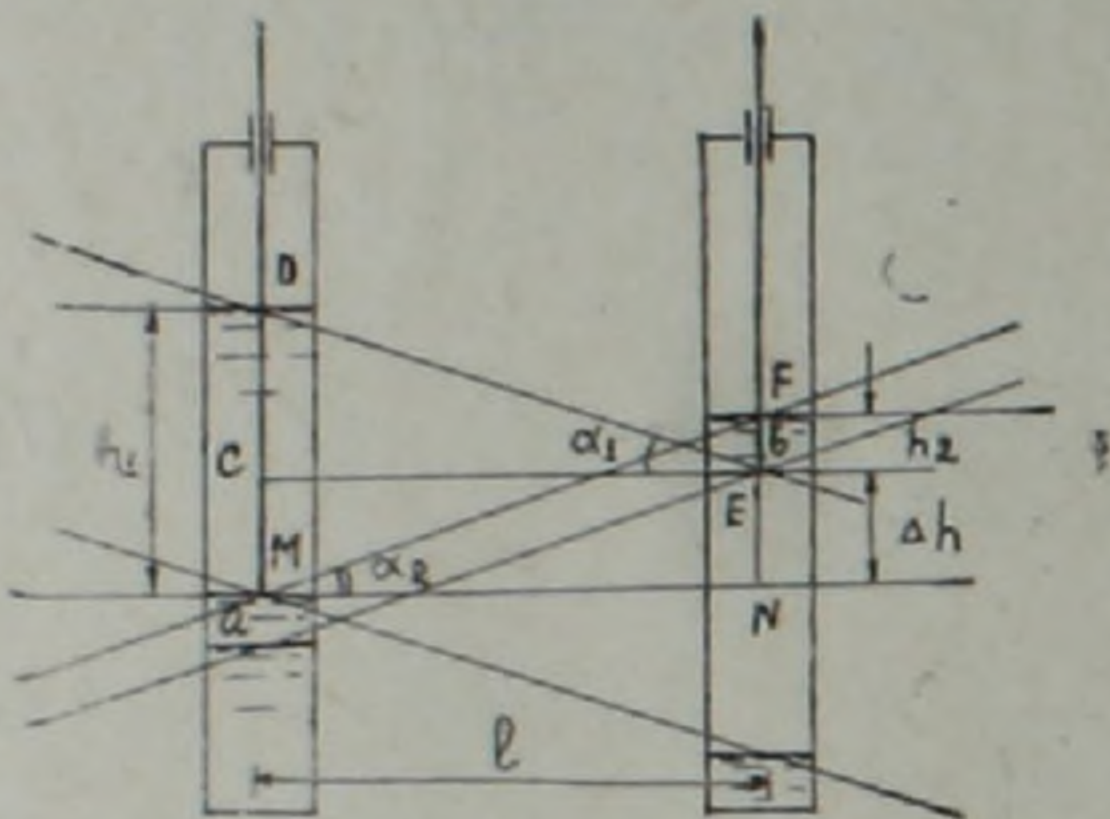


Рис. 3.

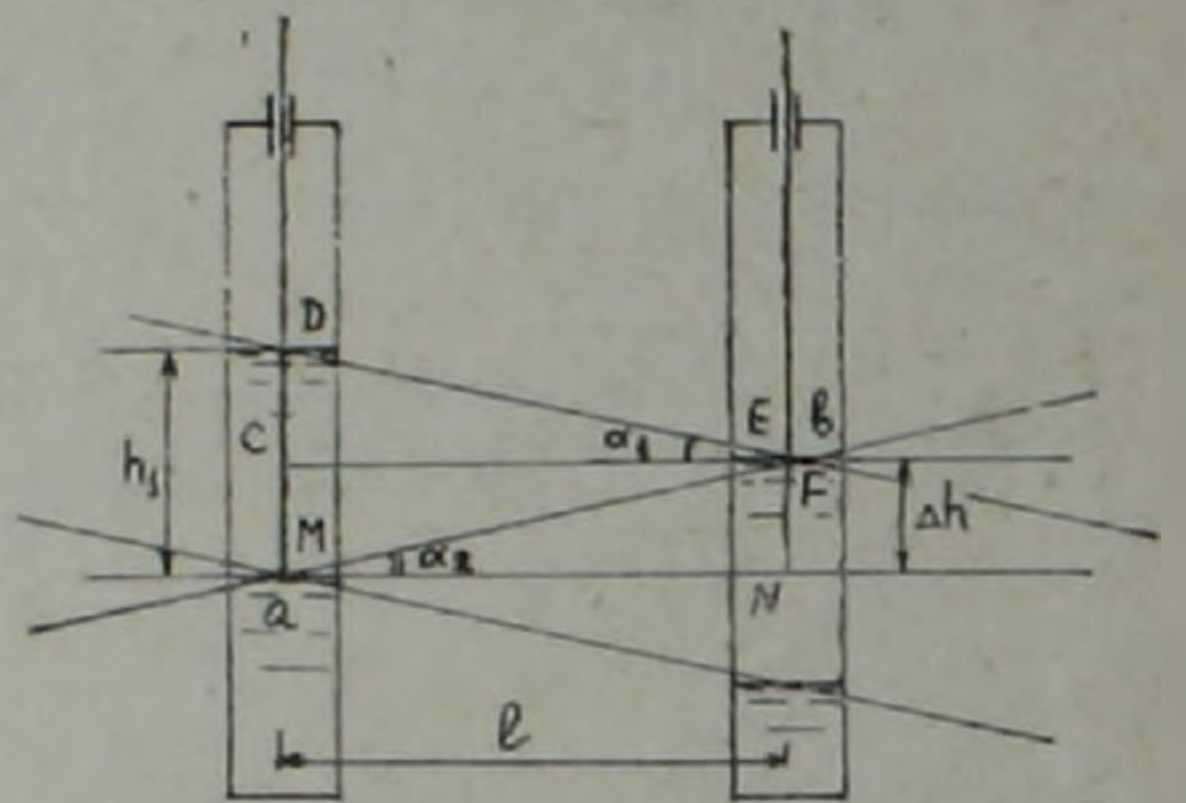


Рис. 4.

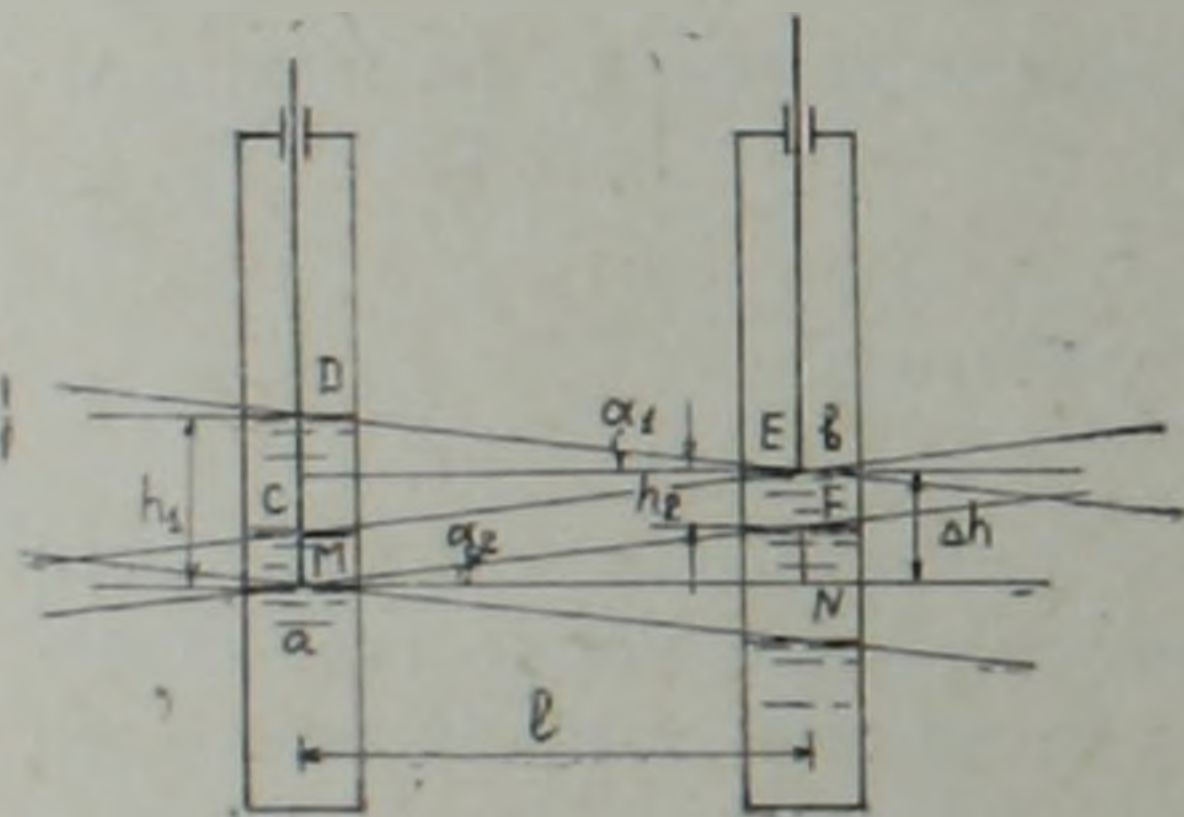


Рис. 5.

С другой стороны

$$Fu = F \frac{dz}{dt} + Q_1$$

имея в виду (4), получим:

$$\begin{aligned}
 \frac{dz}{dt} &= \frac{u}{1 + \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_n}{F}} = \\
 &= Au.
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Если $F_1 = F_2 = \dots = F_n$, то

$$\frac{dz}{dt} = \frac{u}{1 + \frac{F_1 n}{F}} = A_1 u.
 \tag{12}$$

Таким образом, при движении измерительного сосуда вниз, получаем те же самые зависимости, что и при движении сосуда вверх (7, 8).

Следовательно, как при поднятии измерительного сосуда, так и при опускании его с одинаковыми скоростями u , на участках трубопровода расход жидкости не меняется, следовательно, не меняются

лотери энергии, уклон пьезометрической линии и разность в уровнях жидкости в сосудах, а меняется только направление движения.

Известно [2], что при гидродинамическом нивелировании определяется относительная разность отметок двух точек с помощью показаний счетчиков, присоединенных к специальным сигнализаторам, которые срабатывают при соприкосновении или при отрыве жидкости.

Для определения абсолютного значения разности (превышения) точек, делаются два замера:

первый — при повышении горизонта в измерительном сосуде, второй — при понижении уровня.

Рассмотрим случай, когда сигнализатор «а» ниже сигнализатора «в» на величину Δh (рис. 3). При подъеме уровня в соседних сосудах, разность горизонтов жидкости в данном сосуде, когда жидкость соприкасается с сигнализаторами, обозначим через h_1 , а при понижении — разность горизонтов при отрыве жидкости от сигнализаторов h_2 , расстояние между сигнализаторами l , угол между линиями, соединяющими два соседних горизонта жидкости с горизонтальной линией, соответственно через α_1 и α_2 . Эти углы равны $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, так как разность горизонтов соседних сосудов при одинаковой скорости движения измерительных сосудов согласно (5) и (9) равны.

При движении сосудов вверх горизонт жидкости соприкасается сначала с сигнализатором «а», а потом с «в». При понижении уровня жидкости, в зависимости от уклона пьезометрической линии, горизонт жидкости может отрываться от сигнализатора по-разному:

а) при больших уклонах пьезометрической линии горизонт жидкости сначала отрывается от сигнализатора «а», а потом от сигнализатора «в».

Тогда (рис. 3) из треугольника DEC следует:

$$h_1 - \Delta h = l \operatorname{tg} \alpha,$$

а из треугольника FMN :

$$h_2 + \Delta h = l \operatorname{tg} \alpha,$$

откуда

$$\Delta h = \frac{h_1 - h_2}{2}; \quad (13)$$

б) при среднем уклоне могут отрываться две точки вместе (рис. 4), тогда $h = 0$ и из треугольника DEC следует:

$$h_1 - \Delta h = l \operatorname{tg} \alpha;$$

из треугольника FMN :

$$\Delta h = l \operatorname{tg} \alpha.$$

Получим:

$$\Delta h = \frac{h_1}{2}; \quad (14)$$

в) при малом уклоне пьезометрической линии (рис. 5) горизонт жидкости отрывается сначала от сигнализатора «в», а потом от «а». Тогда из треугольника DEC и FMN

$$h_1 - \Delta h = l \operatorname{tg} \alpha$$

$$h_2 + \Delta h = l \operatorname{tg} \alpha.$$

Получим:

$$\Delta h = \frac{h_1 + h_2}{2}. \quad (15)$$

Из вышесказанного следует, что Δh не зависит от уклона пьезометрических линий, а зависит только от разности соприкосновения и отрыва горизонтов жидкости от сигнализатора.

Следовательно, для определения абсолютного значения превышения точек достаточно иметь два замера и при этом никакие внешние факторы не влияют на точность определения отметок. Отметим, что влияние мениска жидкости не учитывается.

Ереванский политехнический
институт

Поступила 9. IV. 1980.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Агроккин И. И., Дмитриев Г. Т., Пикалов Ф. И. Гидравлика, М.—Л., 1950.
2. Мовсисян Р. А., Бархударян А. М. Теоретические основы метода гидродинамического нивелирования. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, № 1, 1976.
3. Мовсисян Р. А., Бархударян А. М. Ошибки гидродинамического характера в системах для гидростатического нивелирования с большим числом сообщающихся сосудов. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, № 6, 1975.
4. Овсисян В. М. Гидравлический таран и таранные установки. «Машиностроение», 1968.