

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Ե. Ի. ԹԵՐ-ՏԵՊԱՆՅԱՆ

О ПОЛОЖЕНИИ ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКОГО УРОВНЯ
 В РЕГУЛЯТОРАХ НАПОРА

Регуляторы напора являются одним из распространенных лабораторных приборов, находящихся, в частности, применение в практике исследования фильтрации: эти регуляторы иногда называются сосудами Мариота. Регулятор напора представляет собой сосуд обеспечивающий постоянство уровня жидкости в сообщающемся с ним резервуаре: это позволяет создавать постоянный или перемежающийся расход жидкости из резервуара, при постоянном напоре. Такой регулятор состоит из бутылки с трубкой внизу, через которую жидкость имеет возможность перетекать в резервуар для пополнения ее расхода. (рис. 1а). Верхнее отверстие бутылки закрыто пробкой, через которую

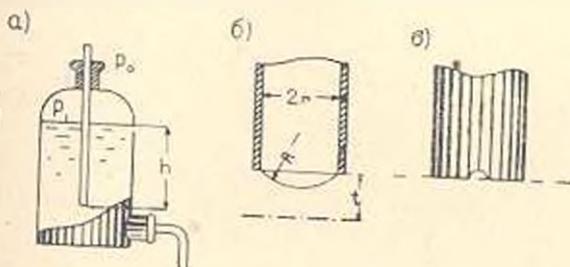


Рис. 1.

пропущена вертикальная стеклянная трубка, не достигающая до дна бутылки. Через эту трубку в регулятор поступает воздух, замещающий расходуемую жидкость.

Уровень нижнего конца воздушной трубки номинально соответствует пьезометрическому уровню, который поддерживает регулятор напора; обозначим глубину погружения нижнего конца трубки относительно поверхности жидкости в регуляторе напора через h . В области, расположенной над уровнем жидкости в регуляторе образуется разрежение воздуха: обозначим давление воздуха в этой полости через p_1 , а атмосферное давление через p_0 . Пусть в некоторый момент времени имеется такое соответствие между всеми упомянутыми величинами и характеристиками жидкости, которое обеспечивает равновесие всей системы.

При расходе жидкости из регулятора, поверхность ее у нижнего конца воздушной трубки прогибается: здесь образуется мениск.

кривизна которого постепенно увеличивается; по достижении некоторого предела, от нижнего конца трубки отрывается пузырек воздуха, который всплывает вверх, а мениск вновь делается плоским или почти плоским. Рассмотрим условия равновесия этого мениска.

Пусть R — радиус кривизны вогнутого мениска; эта величина определяется из условий равенства давлений действующих на поверхность мениска с обеих сторон.

Давление сверху равно атмосферному давлению p_0 . Гидростатическое давление снизу равно $p_1 - \rho g h$, где ρ — плотность жидкости, и g — ускорение силы тяжести. Добавочное давление, возникающее вследствие кривизны мениска составляет $\frac{2\alpha}{R}$, где α — поверхностное натяжение жидкости. Оно направлено вверх, к центру мениска (рис. 16).

Условие равновесия требует:

$$p_1 + \rho g h - \frac{2\alpha}{R} = p_0$$

или

$$h + \frac{\alpha^2}{R} = \frac{p_0 - p_1}{\rho g} \quad (1)$$

где $\alpha^2 = \frac{2\alpha}{\rho g}$ есть капиллярная постоянная жидкости (постоянная Пуассона); для воды при 20° капиллярная постоянная равна 14,8 мм².

Разность $p_0 - p_1$ представляет собой величину вакуума в регуляторе напора. Отношение величины этого вакуума к объемному весу жидкости очевидно будет соответствовать положению пьезометрического уровня; это отношение выражено правой стороной уравнения (1). Пусть пьезометрический уровень расположен на глубине z от поверхности жидкости в регуляторе напора.

Тогда

$$z = \frac{p_0 - p_1}{\rho g} \quad (2)$$

Обозначим через t расстояние указанного пьезометрического уровня от нижнего конца воздушной трубки регулятора, $t = z - h$; тогда, учитывая (1) и (2), получаем

$$t = \frac{\alpha^2}{R} \quad (3)$$

т. е. пьезометрический уровень жидкости в регуляторе напора располагается ниже воздушной трубки на глубину равную отношению капиллярной постоянной этой жидкости к радиусу мениска.

При работе регулятора напора, т. е. в процессе расхода жидкости из него, происходит непрерывное образование пузырьков воздуха. Рассмотрим, как изменяется при этом положение пьезометрического уровня.

В начале, когда поверхность мениска у нижнего конца воздушной трубки плоская, то $R \rightarrow \infty$ и $l = 0$, т. е. пьезометрический уровень совпадает с нижним концом воздушной трубки, что соответствует нулю. Затем, по мере убыли воды из регулятора, у конца воздушной трубки образуется вогнутый мениск, радиус R которого постепенно уменьшается; согласно уравнения (3), соответственно понижается пьезометрический уровень жидкости в регуляторе. Наибольшее опускание имеет место, когда мениск приобретает форму полушеры; тогда радиус мениска равняется внутреннему радиусу r воздушной трубки, $R = r$ и пьезометрический уровень отстоит от нижнего конца воздушной трубки на расстоянии

$$l_{\max} = \frac{a^2}{r}. \quad (4)$$

В дальнейшем, объем мениска продолжает увеличиваться, радиус его также увеличивается, что ведет к уменьшению l , т. е. пьезометрический уровень регулятора несколько поднимается. В момент отрыва воздушного пузырька от нижнего конца воздушной трубки пьезометрический уровень регулятора скачкообразно поднимается до своего верхнего положения. Как указывалось, если при этом мениск делается плоским, то пьезометрический уровень регулятора достигает нижнего конца воздушной трубки.

Величина смещения пьезометрического уровня вследствие образования пузырьков воздуха, может быть значительной. Так, если воздушная трубка имеет диаметр $2r = 3$ мм, то максимальное опускание пьезометрического уровня в воде при 20°C согласно (4), может составить $l_{\max} = 9,9$ мм. Поэтому применение узких стеклянных трубок в регуляторах напора не может быть рекомендовано.

Для повышения точности регуляторов напора рекомендуется применение стеклянных трубок большего диаметра. Еще лучшие результаты могут быть получены, если у нижнего конца стеклянной трубки будет сделана выточка для выпуска пузырьков воздуха (рис. 1в). В этом случае изменение кривизны мениска практически не происходит: изменение положения пьезометрического уровня определяется отношением объема воздушного пузырька к площади поперечного сечения трубки.

При соответствующем подборе диаметра d воздушной трубки и размеров выточки, изменение положения пьезометрического уровня будет незначительным. Так, при $d = 10$ мм и диаметре воздушного пузырька равном 3 мм, колебание пьезометрического уровня составит менее 0,2 мм.

Գ. Ի. ՏԵՐ-ՍՅԵՓԱՆՅԱՆ

ՊՅԵԶՈՒԲԵՏՐԻԿ ԽԱԿԱՐԳԱԿԻ ԳԻՐՔԸ ԱՆՇԱՍՅԱՆ ԿԱՐԳԱՎՈՐԻՉՆԵՐՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու մ

Ճնշության կարգավորիչները (նկ. 1ա) լայն կիրառում ունեն լարորատորիաներում: Հոգվածում ցույց է տրված, որ այդ կարգավորիչներում հեղուկի պլեզմոնետրիկ մակարդակը գտնվում է օդային խողովակի ծայրից ցած է խորության վրա (նկ. 1Ե): Այդ խորությունը հավասար է հեղուկի α -մազանթային հաստատունի հարաբերության մենիսկի R շառավղին (բանաձև 3): Կարգավորիչի աշխատանքի բնթացքում փոխվում է մենիսկի R շառավիղը և համապատասխանորեն՝ χ խորությունը: Պլեզմոնետրիկ մակարդակը հասնում է χ_{\max} մեծություն խորության, երբ մենիսկի շառավիղը հավասարվում է օդային խողովակի R շառավղին (բանաձև 4): Այդ ատանումները նվազեցնելու համար առաջարկվում է մեծացնել օդային խողովակի տրամագիծը և ակոստաշեղ նրա ներքին ծայրը (նկ. 1Ե):

Լ Ի Տ Ե Ր Ա Մ Ր Ա

- Դ. Դ. ԹԵՐ-ՏՏԵՊԱՆԻ. Օб условиях равновесия жидкости в капиллярной системе. ИАН АрмССР 1951, 13 (1).