

ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ ПОВОРОТОВ НА ОДНОФАЗНОЙ ЖИДКОСТИ И ГИДРОСМЕСИ С РАВНЫМИ ПО ВЕЛИЧИНЕ УДЕЛЬНЫМИ ВЕСАМИ КОМПОНЕНТОВ

А. Л. Фонарев, В. В. Чечин

В коротких трубопроводах с местными сопротивлениями, расположенными близко друг относительно друга, наблюдается их взаимное влияние.

Для однофазных жидкостей это явление изучено достаточно полно, поэтому ему посвящено много работ. Из них следует выделить работы, опубликованные в последнее время [1, 2].

Визуальные наблюдения, кино- и фотосъемка показывают, что процессы, происходящие в местном сопротивлении при движении гидросмеси, очень сложны, а поэтому не удивительно, что сведения о величине гидравлических потерь скудны и носят главным образом экспериментальный характер. Подавляющее большинство работ в этой области относится к исследованиям водогрунтовых смесей [3—6]. Остановимся на одной из них.

В. Е. Социловым [5] приведены результаты эксперимента с гидросмесями в двух местных сопротивлениях: внезапном расширении с ω_2 , равным 2 и 4 и составном колене с углом поворота 90° . Опыты проводили при средних скоростях гидросмеси значительно больше критической (режим без заилиения). Ее величина при испытании первого местного сопротивления составляла ($2 \leq v \leq 3,65$) м/с, второго — ($4,4 \leq v \leq 9,3$) м/с. Расходная объемная концентрация гидросмеси изменялась ($0 \leq k \leq 0,150$). У исследуемых объектов жидкой фазой являлась вода, а в качестве твердого компонента использовали песок, гравий и их смесь.

На основании этих опытов В. Е. Социлов [5] подтверждает мнение А. П. Юфина [3] о том, что и у гидросмеси и у однофазной жидкости потери напора равны, если их выражать в метрах столба транспортируемой жидкости.

Задача о гидравлическом сопротивлении гидросмеси при ее внезапном расширении впервые теоретически решена А. Л. Фонаревым [7]. Многочисленные опыты с внезапным расширением водорыбных [8] и других гидросмесей, у которых относительный удельный вес равен или примерно равен 1 [9], подтвердили вывод автора [7].

Так как при повороте потока гидросмеси или при движении в коленах происходят те же явления, что и при внезапном ее расширении, теоретическое решение [7] можно распространить и на эти местные сопротивления [9].

Помимо изолированных местных сопротивлений в рыбопроводах встречаются колена (повороты), расположенные близко друг от друга. Их гидравлические сопротивления ранее не были известны.

В работе приведены исследования взаимного влияния поворотов, собранных в виде Z- и П-образных местных сопротивлений. Опыты проведены на гидросмеси с одинаковыми удельными весами компонентов. Поэтому их результаты можно распространить и на водорыбные смеси, у которых $\bar{\gamma}$ примерно равна единице.

Экспериментальная установка состоит из центробежного насоса, всасывающего и нагнетательного трубопроводов, колена, отводящего трубопровода и питательного бака (рис. 1).

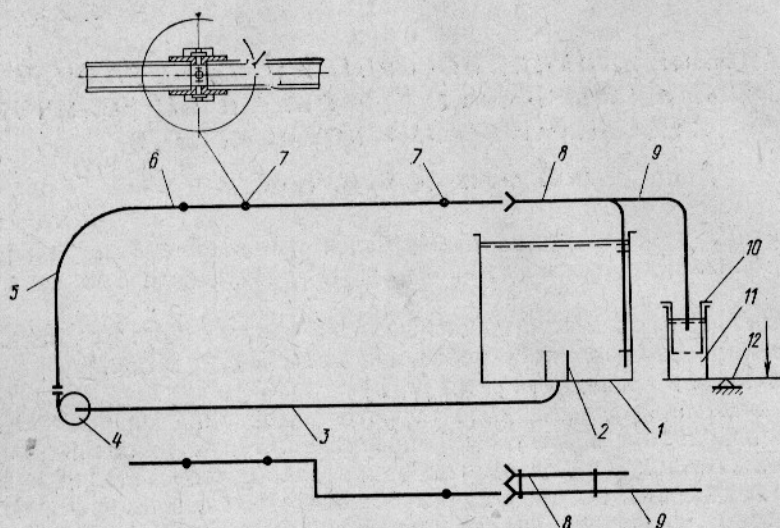


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки.

Центробежный насос 4 с большой шириной канала рабочего колеса приводится в движение от электродвигателя постоянного тока. Независимое питание обмотки возбуждения и якоря электродвигателя позволяет изменять его частоту вращения в широком диапазоне: от нуля до максимума.

Всасывающий трубопровод 3 собран из металлических труб диаметром 50 мм. Соединения всасывающего трубопровода — фланцевые.

Нагнетательный трубопровод 6 — стеклянный ($D=21,1$ мм). За начальным (длиной $31D$) и рабочим (участок трубопровода для измерения потерь напора по длине $20D$) участками располагаются два поворота с различными длинами проставок, собранные либо по Z-образной, либо по П-образной схемам.

Отметим, что ранее проведенными опытами установлено, что принятая длина начального участка обеспечивает линейный закон изменения гидравлических потерь на трение по длине трубопровода и для однофазной жидкости и для гидросмеси ($\bar{\gamma} \cong 1$).

Место отбора давления до местного сопротивления $8,5D$, а за ним на расстоянии 60 диаметров трубопровода. Длина конечного участка $26D$.

Повороты изготовлены из органического стекла, а проставки из отрезков стеклянной трубы. Их диаметр соответствует диаметру трубопровода.

С нагнетательным трубопроводом и проставками повороты соединяются фланцами.

Втулки 7 для отбора давления представляют собой полированный внутри цилиндр из органического стекла с двумя выточками для крепления трубопровода 8 и сквозными отверстиями диаметром 2 мм в центре.

Снаружи на втулке укреплено (приклеено) кольцо с ниппелем для присоединения дифференциального манометра.

Прочность крепления обеспечивается плотной насадкой стеклянных труб в выточках втулки для отбора давления и приклеиванием части их наружной поверхности к ее торцам.

С центробежным насосом 4 нагнетательный трубопровод 6 соединен металлической трубой 5, которая оканчивается коленом с большим радиусом закругления ($\bar{R} > 30$).

Отводящий трубопровод состоит из двух пластмассовых труб 8, 9, жестко соединенных между собой. Одна из них 8 направляет вытекающую струю в бак 1, а другая 9 — в мерные баки 10, 11. Чтобы избежать разбрызгивания струи, отводящие трубопроводы снабжены направляющими насадками.

Гидросмесь находится в баке 1 емкостью 1 м³, наружные стенки которого металлические, а внутренние из винипласта. Когда гидросмесь направляется в мерные цилиндрические баки, твердый компонент задерживается во внутреннем баке с перфорированным дном 10, а жидкость стекает в бак 11.

После взвешивания на весах 12 (гидросмеси и ее составляющих) гидросмесь выливают в бак 1.

Как видно из рис. 1, экспериментальная установка работает по разомкнутому циклу. Жидкость или гидросмесь из бака 1 через направляющий конус 2, всасывающий трубопровод 3, центробежный насос 4, нагнетательные трубопроводы 5, 6 и отводящий трубопровод 8 поступает обратно в бак 1. Во время опыта к струе подводится отводящий трубопровод 9, благодаря чему жидкость или гидросмесь из нагнетательного трубопровода поступает в мерные баки 10 и 11.

Объектами исследования являлись два поворота ($\alpha = 90^\circ$), собранные по Z- или П-образным схемам, с различными расстояниями друг от друга ($2,95 \leq l \leq 16,5$).

Чтобы иметь возможность приблизить условия опытов к водорыбным смесям, опыты проводили на гидросмеси с равными удельными весами компонентов ($\bar{\gamma} = 0,91$). Жидкой фазой гидросмеси являлся раствор гидролизного спирта в воде, а твердым компонентом служил полиэтилен 10802—020.

Перед началом рабочих опытов экспериментальную установку (систему трубопроводов и центробежный насос) освободили от воздуха; продули и освободили от воздуха трубки дифференциального манометра. Когда через экспериментальную установку начинала двигаться гидросмесь постоянной концентрации, проводили рабочий опыт.

При проведении опыта определяли его продолжительность (время заполнения мерных баков 10, 11), температуру гидросмеси и снимали показания дифференциальных манометров.

После опыта находили массу гидросмеси и ее твердого компонента и определяли: среднюю скорость гидросмеси

$$v = \frac{4}{\pi D^2} \frac{V}{\tau}, \quad (1)$$

ее объемную концентрацию

$$k = \frac{G_T}{G}. \quad (2)$$

гидравлические местные потери

$$h_w = \zeta \frac{v^2}{2g} = h_d - h_{w_{тр}}, \quad (3)$$

где v — средняя скорость гидросмеси;
 D — диаметр трубопровода;
 V — объем гидросмеси;
 τ — продолжительность опыта;
 G, G_m — масса гидросмеси и ее твердого компонента;
 h_w — потери напора в местном сопротивлении;
 ζ — коэффициент местного сопротивления;
 h_d — показание дифференциального манометра;
 $h_{w_{тр}}$ — потери напора на трение между точками отбора давления до и после местного сопротивления.

Потери напора на трение до и после местного сопротивления во время опыта измеряли непосредственно и одновременно контролировали по материалам ранее проведенных опытов [7].

Относительные погрешности при измерении показаний дифференциального манометра h_d , потерь на трение между точками отбора давления до и после местного сопротивления $h_{w_{тр}}$, продолжительности опыта τ , массы гидросмеси G и ее твердого компонента G_m составляют:

$$\Delta h_d = \pm 0,5\%; \quad \Delta \tau = \pm 0,5\%; \quad \Delta h_{w_{тр}} = \pm 1\%.$$

Для опытных значений массы гидросмеси (~ 20 кг) и ее твердого компонента (~ 7 кг) точность их взвешивания на медицинских весах ВМ-150 практически может быть принята абсолютной.

Перед проведением опытов с гидросмесью местные сопротивления предварительно испытывали на однофазных жидкостях (воде, растворе гидролизного спирта в воде). Результаты наших опытов совпали с результатами ранее проведенных и признанных опытов [10].

Опыты с однофазной жидкостью, малый разброс точек в экспериментах с гидросмесью и многократное повторение их результатов позволяют косвенно судить о достаточной точности полученных опытных данных.

Перед проведением опытов с гидросмесями местные сопротивления испытывали на однофазной жидкости. Наиболее полно они проведены на воде: ($2 \leq v \leq 5$) м/с, ($4,2 \cdot 10^4 \leq Re \leq 1,05 \cdot 10^5$).

На рис. 2 изображена экспериментальная зависимость коэффициента местного сопротивления от относительной длины для Z- и П-образных местных сопротивлений. Кроме результатов наших опытов, на график нанесены данные [10].

Мы видим, что у испытанных местных сопротивлений взаимное влияние поворотов наблюдается только в узком диапазоне изменения расстояния между ними. Если $0 \leq l \leq 5$, суммарное гидравлическое сопротивление 2 поворотов отличается от суммы потерь изолированных местных сопротивлений. При дальнейшем увеличении относительного расстояния между поворотами в двух случаях (Z и П) взаимное влияние поворотов практически отсутствует.

Максимум и минимум гидравлических потерь у местных сопротивлений наблюдается при l , равном примерно 2, причем у Z-образного поворота безразмерный коэффициент возрастает примерно на 70%, а у П-образного — уменьшается примерно на 80%. Попутно отметим, как об этом указывалось раньше, хорошее согласование наших опытов с экспериментальными данными [10].

Опыты с гидросмесями проведены в том же диапазоне изменения средних скоростей, что и с однофазной жидкостью ($2 \leq v \leq 5$) м/с, при расходных объемных концентрациях ($0,20 \leq k \leq 0,35$).

Они показали, что гидравлические сопротивления поворотов, собранных по Z- и П-образным схемам на однофазной жидкости и гидросмеси ($\bar{\gamma}=1$), в одинаковых условиях равны друг другу. Иначе, ни средняя скорость, ни расходная объемная концентрация гидросмеси не влияют на гидравлические местные сопротивления поворотов (см. таблицу). По этой причине влияние относительной длины проставки на

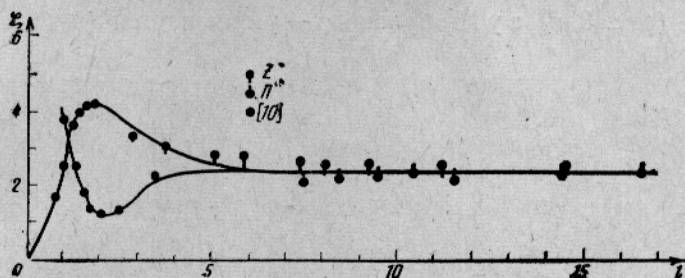


Рис. 2. Экспериментальная зависимость $\zeta(\bar{l})$ на однофазной жидкости для поворотов, собранных по Z- и П-образным схемам.

№ пп.	Местное сопротивление	$l = \frac{l}{d}$	k	v , м/с	ζ	t°
1	П-образные	5,90	0,292	2,78	2,46	21
2		5,90	0,264	3,88	2,34	21
3		5,90	0,258	5,00	2,29	21
1		2,94	0,308	3,48	3,31	18
2		2,94	0,313	4,25	3,24	18
3		2,94	0,300	4,59	3,24	18
1	Z-образные	5,90	0,307	3,16	2,92	18
2		5,90	0,310	3,24	2,81	18
3		5,90	0,305	4,04	2,85	18
4		5,90	0,300	4,60	2,90	18

величину ζ поворотов на гидросмеси такое же, как и у однофазной жидкости. И, так как в качестве рабочей жидкости выбрана гидросмесь с равными удельными весами компонентов, этот вывод можно распространить и на водорыбные смеси.

Таким образом, и при наличии взаимного влияния гидравлическое сопротивление поворотов на водорыбных смесях следует рассчитывать по формулам и коэффициентам для однофазной жидкости [10, 11].

Помимо измерения интегральных характеристик, проведены исследования картины течения гидросмеси через местные сопротивления. Для ее визуализации в качестве твердого компонента использовали полиэтилен 10802—020 синего цвета.

Фотосъемку проводили аппаратом «Зенит» на просвет с малой выдержкой, величина которой при $1,5 \leq v \leq 3,1$ м/с составила $\left(\frac{1}{60}, \frac{1}{125}\right)$ с (при таких условиях на фотографии хорошо виден и основной поток и вихревые зоны местного сопротивления).

Наблюдение и материалы фотосъемки позволяют высказать некоторые предположения о причинах взаимного влияния поворотов. За первым местным сопротивлением траектория частиц основного потока искривляется. По восходящей ветви его ядро приближается к наружной стенке поворота. Поэтому при увеличении относительного расстояния местная скорость гидросмеси, обтекающая внутренний угол второго поворота, у Z-образного местного сопротивления увеличивается ($v > v_{\text{ср}}$), (рис. 3, а), а у П-образного — уменьшается ($v < v_{\text{ср}}$) (рис. 3, б).

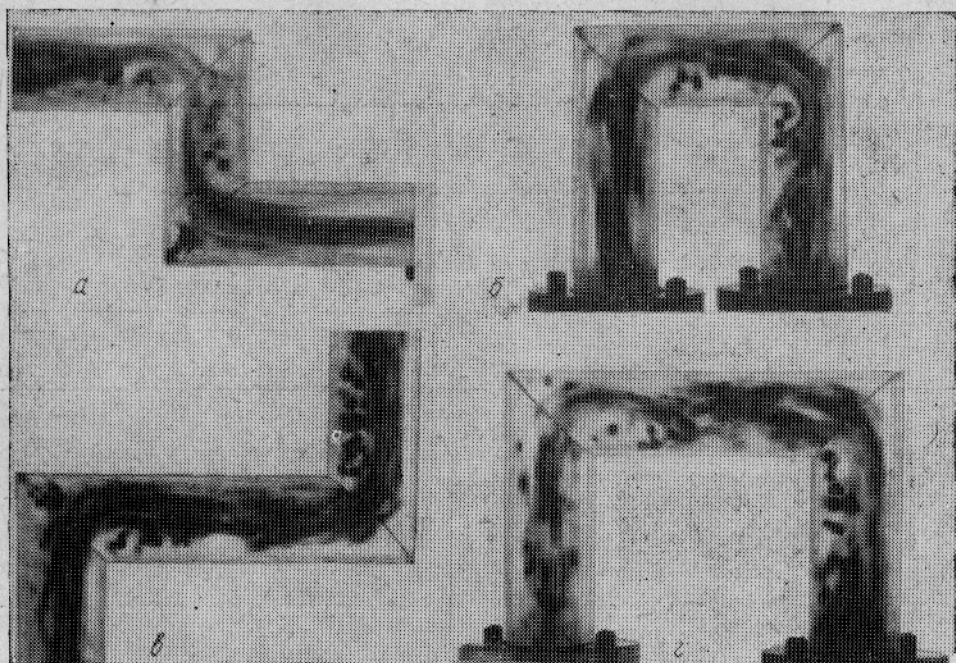


Рис. 3. Картина течения гидросмеси через местные сопротивления: а — Z-образное, $\bar{l}=2,5$; б — П-образное, $\bar{l}=2,5$; в — Z-образное, $\bar{l}=4,0$; г — П-образное, $\bar{l}=4,0$.

В связи с этим у первого местного сопротивления гидравлические потери и их безразмерный коэффициент должны возрастать, а у второго — уменьшаться ($0 \leq l \leq 2$).

По нисходящей ветви траектории ядро потока приближается к внутренней стенке местного сопротивления. Поэтому при дальнейшем увеличении l у Z-образного местного сопротивления второй угол обтекает поток с малыми местными скоростями ($v < v_{\text{ср}}$), а у П-образного — с $v > v_{\text{ср}}$. Очевидно, в силу этого при ($2 \leq l \leq 5$) в первом случае ζ должен уменьшаться, а во втором случае — возрастать.

Когда относительная длина станет равной 5, траектория частиц основного потока выпрямляется и взаимное влияние местных сопротивлений прекращается (рис. 3, в, г).

Описанный выше характер зависимости $\zeta(l)$ для Z- и П-образных местных сопротивлений подтверждается и экспериментально (см. рис. 2).

На рис. 3 следует обратить внимание и на следующее. При малых относительных длинах повороты образуют новое местное сопротивление с единой вихревой системой. У Z-образного местного сопротивления ее образуют вихревые области у внутреннего угла первого и внешнего уг-

ла второго поворотов, при П-образной схеме — у внутренних углов местных сопротивлений. И, так как геометрические размеры вихревой системы обуславливают величину местных потерь, у первого местного сопротивления (см. рис. 3, а) она значительно больше, чем у второго местного сопротивления (см. рис. 3, б).

По мере увеличения относительной длины вихревые области поворотов обретают свою индивидуальность и при l , равном или больше 5, становятся независимыми и равными друг другу (см. рис. 3, в, г).

Выводы

1. Местные потери напора у Z- и П-образных поворотов на однофазной жидкости и гидросмеси с равными по величине удельными весами компонентов при одинаковых условиях равны.

2. При относительной длине проставки 5 и более взаимное влияние поворотов прекращается.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольденберг И. З. Исследование поля осевой составляющей скорости потока в судовом трубопроводе за отводом. — «Труды КТИРПХ», 1970, вып. XXII, с. 125—134.

2. Фонарев А. Л. О взаимном влиянии двух видов местных сопротивлений при кавитации и бескавитационном движении жидкости. — «Труды КТИРПХ», 1970, вып. XXII, с. 114—125.

3. Юфин А. П. Напорный гидротранспорт. М., Госэнергоиздат, 1950. 136 с.

4. Юфин А. П. Гидромеханизация. М., Стройиздат, 1965. 496 с.

5. Сочилев В. Е. Расчет потерь напора в местных сопротивлениях при транспортировке гидросмеси. — «Гидротехническое строительство», 1962, № 7, с. 39—40.

6. Карасик В. М. Исследование движения потока гидросмеси на повороте. — «Сборник статей АН УССР». Киев. «Наукова думка», 1963, с. 17—23.

7. Фонарев А. Л. Расчет гидротранспорта рыбы. М., «Пищевая промышленность», 1971. 77 с.

8. Чечин В. В. Исследование гидравлических характеристик при внезапном расширении водорыбной смеси. — «Рыбное хозяйство», 1970, № 10, с. 63—64.

9. Чечин В. В. Исследование гидравлических характеристик водорыбных смесей при внезапном расширении, сжатии и повороте. — «Труды ВНИРО», 1971, т. 78, с. 167—196.

10. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М., Госэнергоиздат, 1960. 464 с.

11. Гольденберг И. З. Гидравлические потери и механизм взаимодействия поворотов потока в коротких напорных каналах. — «Экспериментальная гидромеханика судна», 1966, вып. 76, с. 51—59.

Mutual influence of turns in a one-phase liquid and hydraulic mixture containing components of equal specific weight

A. L. Fonarev, V. V. Chechin

SUMMARY

The mutual influence of turns arranged as Z-and P-form local resistances is investigated. The experiments were carried out with the hydraulic mixture containing components of equal specific weight, so the results can be applied to water-fish mixtures in which γ approximates 1.

It is ascertained that the presence of a solid component in the liquid does not affect hydraulic losses in local resistances. Owing to that their values both in the hydraulic mixture and in a one-phase liquid under comparable conditions are the same. The pattern of the flowing liquid is also studied, and some assumptions are made on the source of mutual effects of turns in the Z-and P-form local resistances.