

Р. Р. Юсупов, С. И. Шторк, С. В. Алексеенко

*Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
пр. Акад. Лаврентьева, 1, Новосибирск, 630090, Россия*

*Новосибирский государственный университет
ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090, Россия*

romansemk@yandex.ru, shtork@itp.nsc.ru, aleks@itp.nsc.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЬНОЗАКРУЧЕННОГО ГАЗОЖИДКОСТНОГО ПОТОКА В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ВИХРЕВОЙ КАМЕРЕ *

Работа посвящена экспериментальному исследованию закрученных однофазного и двухфазного потоков в горизонтальной вихревой камере с тангенциальным завихрителем. Особое внимание уделено возникновению нестационарных вихревых структур. В случае однофазного потока выявлено образование прецессирующего вихревого ядра (ПВЯ) в сопле. Экспериментально подтверждена линейная зависимость частоты прецессии ПВЯ и квадратичная зависимость полного перепада давления в вихревой камере от расхода жидкости. В случае двухфазного потока высокоскоростная визуализация также позволила выявить наличие вторичных вихревых структур в цилиндрической области за внезапным расширением. Добавление газовой фазы в поток приводит к резкому падению частоты прецессии вихря и полного перепада давления в вихревой камере. При дальнейшем увеличении газосодержания частота плавно уменьшается, а перепад изменяется незначительно, слабо возрастающая или уменьшающаяся в зависимости от расхода несущей фазы. При этом выявляется согласованность изменений интегральных характеристик потока при изменении расходов жидкости и газа.

Ключевые слова: закрученный поток, вихревая камера, однофазный поток, двухфазный поток, прецессирующее вихревое ядро, параметр крутки, вихревые структуры.

Введение

В настоящее время закрученные потоки широко применяются в различных технических устройствах. Их используют в скрубберах и циклонных сепараторах для очистки газов и жидкостей, в горелочных устройствах для стабилизации пламени [1–4]. В сильнозакрученных потоках часто происходит формирование нестационарных структур, таких как прецессирующее вихревое ядро (ПВЯ). В одних случаях ПВЯ, являясь источником вибраций и шумов, рассматривается как неблагоприятное явление, в частности применительно к горелочным системам

[5] или гидротурбинному оборудованию [6–9], в других, таких как вихревые расходомеры, возникновение интенсивного ПВЯ является необходимым условием нормальной работы устройства [9–11]. Нестационарность и турбулентность делают явление ПВЯ сложным как для экспериментального исследования, так и для математического моделирования, что затрудняет получение информации, необходимой для прогнозирования влияния ПВЯ на параметры вихревых аппаратов. Данный аспект становится еще более критичным в случае многофазных потоков. Здесь необходимо отметить, что в настоящее время систематические экспери-

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-29-00093).

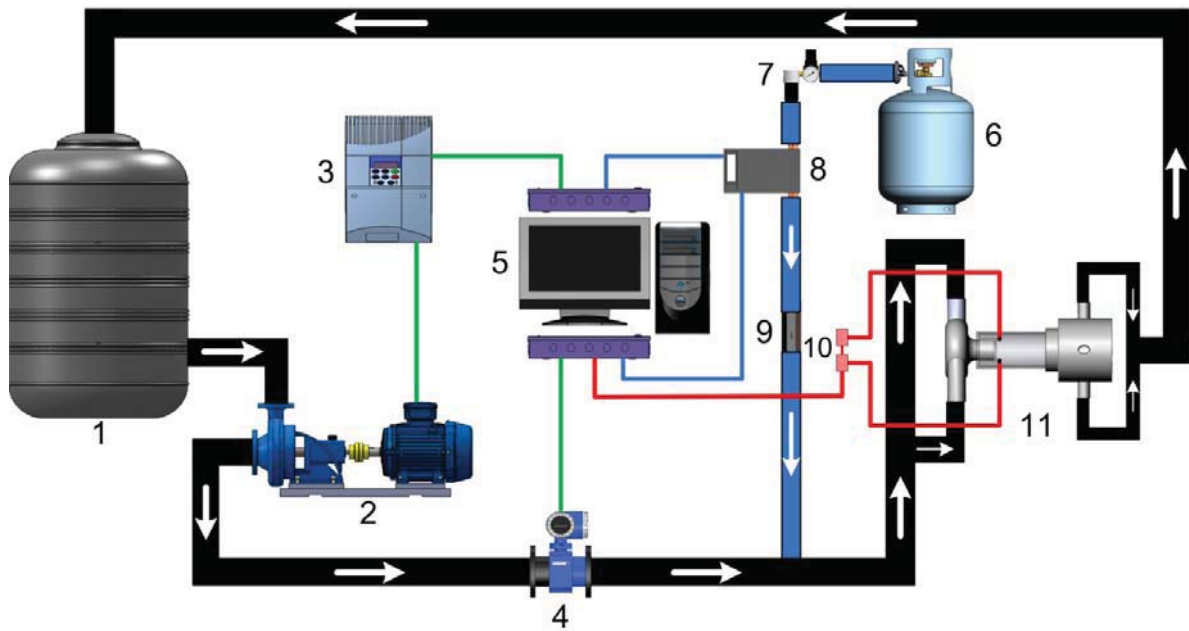


Рис. 1. Гидродинамический стенд: 1 – бак; 2 – центробежный насос; 3 – частотный преобразователь; 4 – расходомер жидкости; 5 – ПК; 6 – ресивер для сжатого воздуха; 7 – редуктор; 8 – электронный контроллер расхода воздуха; 9 – обратный клапан; 10 – система датчиков давления; 11 – рабочий участок

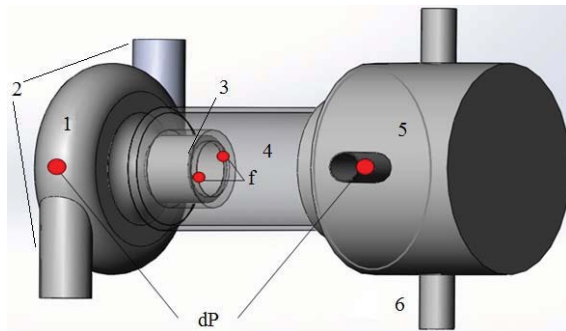


Рис. 2. Гидродинамическая вихревая камера: 1 – корпус тангенциального завихрителя; 2 – входные патрубки; 3 – сопло; 4 – цилиндрическая камера; 5 – выходной блок с системой лопаток; 6 – выходные отверстия

ментальные исследования ПВЯ в газожидкостных закрученных потоках ограничены нашими работами [12–14], которые выполнены для гидродинамической вихревой камеры с осевым завихрителем. Данная работа является продолжением этих исследований в плане расширения диапазона варьирования степени закрутки потока в область больших параметров крутки, которые обеспечиваются использованием вихревой камеры с тангенциальным завихрителем. В основу работы, как и в предыдущих исследованиях, положено из-

мерение интегральных параметров потока: частоты прецессии вихревого ядра и полного перепада давления в камере, которые позволяют характеризовать процессы нестационарного вихреобразования при дооблавении газа в несущую жидкую фазу.

Экспериментальная установка

Гидродинамический стенд. Для проведения исследований использовался экспериментальный стенд, представленный на рис. 1. Он состоит из гидродинамического контура, системы подачи воздуха и рабочего участка, сконструированного специально для генерации ПВЯ. Данный стенд позволяет создавать и поддерживать двухфазный поток с необходимым расходом и фазовым составом.

Для измерения интегральных характеристик потока на рабочем участке смонтирована система датчиков давления. Сигналы с датчиков через аналого-цифровой преобразователь поступают на ПК, где производится их анализ и обработка.

Вихревая камера. В качестве рабочего участка используется цилиндрическая камера с тангенциальным завихрителем, изготовленная из оргстекла (рис. 2). Принцип работы вихревой камеры основан на созда-

нии закрученного потока с помощью тангенциального завихрителя диаметром $D_0 = 185$ мм. Закрученный поток, пройдя через сопло, попадает в цилиндрическую камеру диаметром $D = 104$ мм. При прохождении сильнозакрученного потока через область с внезапным расширением происходит распад вихря, сопровождающийся образованием ПВЯ. Из цилиндрической камеры поток поступает в выходную секцию, где установлена система лопаток, гасящая закрутку потока. Выход потока из рабочего участка осуществляется через четыре симметрично расположенных выходных отверстия.

Степень закрутки потока характеризовалась на основе конструктивного (геометрического) параметра крутки [15]:

$$S = \frac{\pi d D_0}{4 A_T}.$$

Здесь d – диаметр сопла, D_0 – диаметр тангенциального завихрителя, A_T – площадь входных патрубков. В работе использовалось сопло диаметром $d = 52$ мм, соответствующим геометрическому параметру крутки $S = 2,4$.

Измерительное оборудование. Для измерения частоты прецессии вблизи выхода из сопла были установлены два пьезоэлектрических датчика давления Piezoelectric-014MT. Датчики располагались в диаметрально противоположных точках (см. рис. 2), что позволяло использовать разностный сигнал с двух датчиков, для того чтобы избавиться от посторонних шумов [9; 16]. Кроме этого, к рабочему участку подключался дифференциальный тензодатчик давления BD Sensors DMD 331, который предназначен для измерения полного перепада давления в вихревой камере.

Результаты

Однофазный поток. На рис. 3, а показаны пульсации давления, регистрируемые двумя пьезодатчиками. Из представленных сигналов видно, что периодические пульсации регистрируются в противофазе. Именно это свидетельствует о наличии неосесимметричной структуры в виде вихревого ядра [16], центр которого смещен относительно центра канала и вращается вокруг него с частотой, называемой частотой прецессии ПВЯ. Можно видеть также возмущения сигналов, которые вызваны воздействием виб-

раций гидродинамического контура. Посторонние шумы, регистрируемые датчиками в одной фазе, вычитаются при вычислении разностного сигнала, в то время как сигнал от ПВЯ удваивается, как это можно видеть на рис. 3, б.

Для определения частоты прецессии дифференциальный сигнал анализировался с помощью быстрого преобразования Фурье (FFT – Fast Fourier Transform). На рис. 4 представлен спектр разностного сигнала (см. рис. 3, б), на котором имеется ярко выраженный пик, соответствующий частоте прецессии ПВЯ.

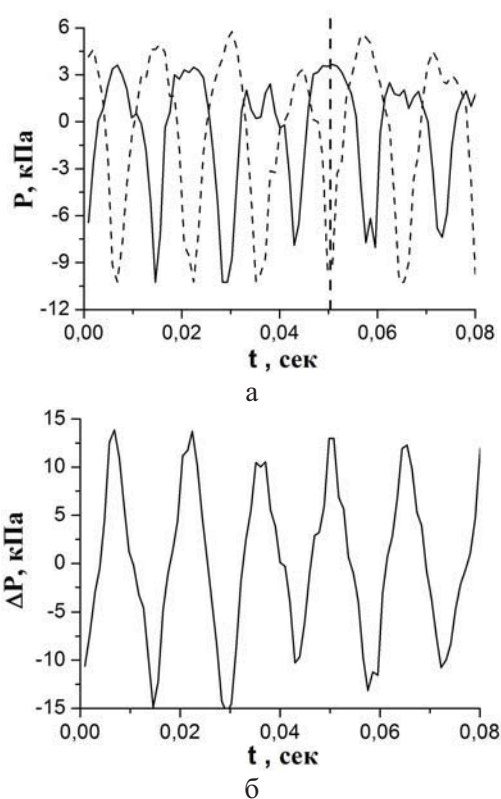


Рис. 3. Периодические пульсации давления (а), регистрируемые в противофазе, с двух пьезоэлектрических датчиков. Дифференциальный сигнал (б) с двух датчиков давления

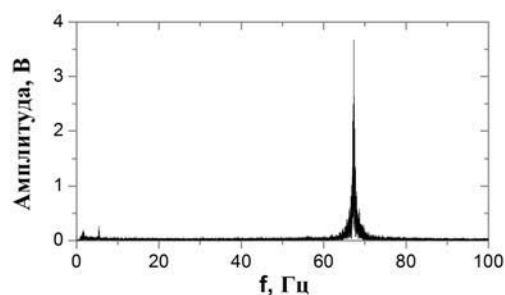


Рис. 4. Частотный спектр колебаний для дифференциального сигнала

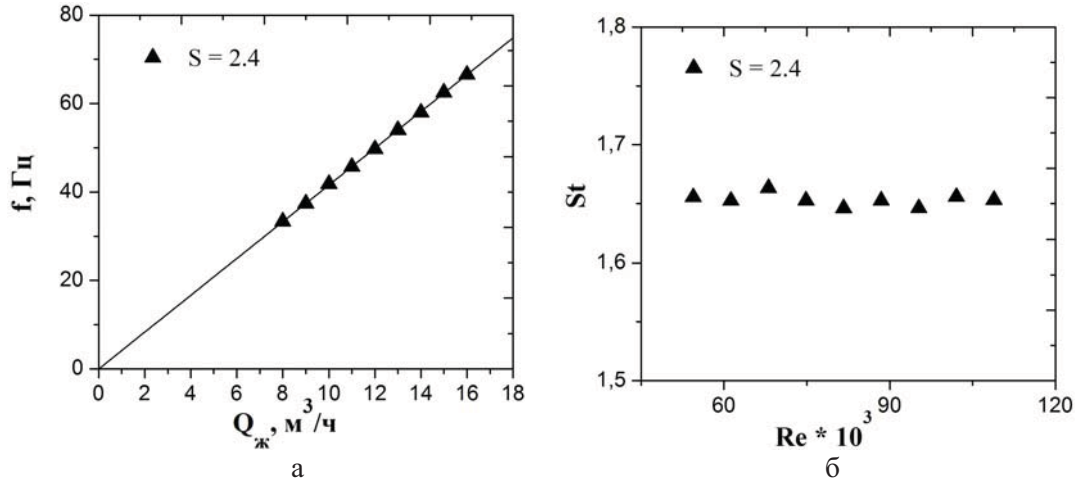


Рис. 5. Зависимость частоты прецессии вихревого ядра от расхода жидкости (а); зависимость числа St от числа Re (б)

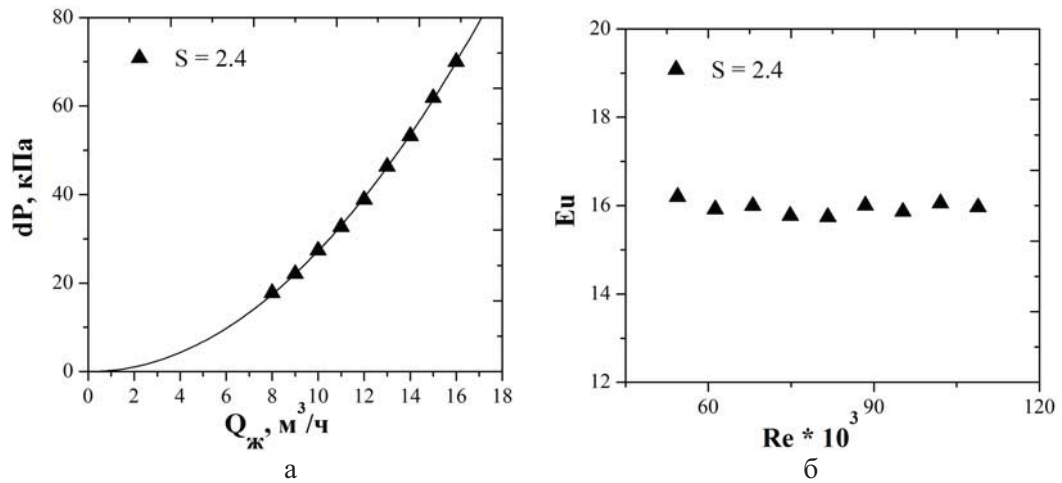


Рис. 6. Зависимость полного перепада давления от расхода жидкости (а); зависимость числа $Eu = 2dP/\rho U^2$ от числа Re (б)

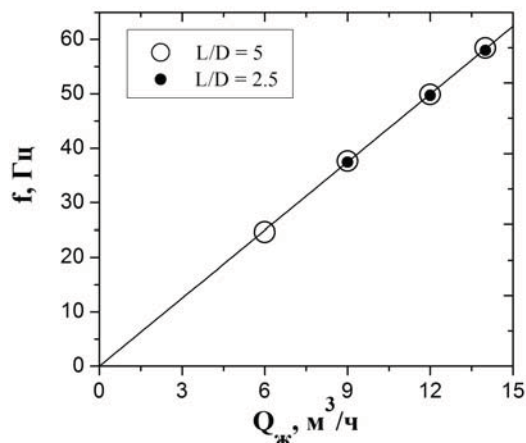


Рис. 7. Зависимость частоты прецессии от расхода жидкости при удлинении вихревой камеры

На рис. 5, а представлена зависимость частоты прецессии ПВЯ от расхода жидкости. Измерения проводились при значении параметра крутки 2,4. Полученная зависимость является линейной, что обычно для ПВЯ [15]. На рис. 5, б приведена зависимость числа Струхала

$$St = f \cdot d / U$$

от числа Рейнольдса

$$Re = U \cdot d / \nu,$$

где U – среднерасходная скорость жидкости в сопле, ν – вязкость жидкости. Видно, что число St не зависит от числа Re , т. е. имеет место автомодельность вихревого течения относительно числа Рейнольдса.

С помощью дифференциального пьезодатчика проводилось измерение полного перепада давления в вихревой камере, связанного с интенсивностью процессов вихреобразования. На рис. 6, *a* представлена полученная экспериментальная зависимость полного перепада от расхода жидкости, которая имеет параболическую форму. На графике в безразмерных координатах также проявляется автомодельность процесса (рис. 6, *b*).

На следующем этапе исследований было изучено влияние длины цилиндрической области внезапного расширения в вихревой камере на частоту прецессии вихревого ядра. Для проведения эксперимента с помощью установки дополнительной секции длина цилиндрической камеры была увеличена с $L/D = 2,5$ до $L/D = 5$, где L – длина, D – диаметр сопла. Полученная зависимость частоты прецессии от расхода жидкости при параметре крутки 2,4 представлена на рис. 7. На данном графике видно, что частоты прецессии ПВЯ в короткой и длинной камерах совпадают и линейно растут с увеличением расхода. Исходя из представленных результатов можно сделать вывод, что условия на выходе из рабочего участка не влияют на процесс формирования вихревого ядра в завихрителе. Однако, как будет показано ниже при визуализации потока с добавлением воздуха, длина вихревой камеры заметно влияет на формирование в цилиндрическом участке вторичной вихревой структуры. Как раз в случае удлиненной камеры реализуется более интенсивный вторичный вихрь, поэтому были проведены дополнительные исследования пульсационных характеристик течения для этой конфигурации.

В камере с $L/D = 5$ пульсации давления регистрировались в 4 различных точках (рис. 8). Полученные спектры представлены на рис. 9. Спектры нормированы на максимальную амплитуду, которая наблюдается в положении 4.

В положении 1 регистрируются только пульсации от основного прецессирующего вихревого ядра, образующегося в завихрителе и сопле. Далее, в положении 2 сигнал от основного вихря исчезает, но заметными становятся пульсации, генерируемые вторичной вихревой структурой. При дальнейшем смещении датчиков вдоль цилиндрической камеры в положение 3 и 4 происходит увеличение амплитуды пульсаций давления

от вторичного вихря. Необходимо также отметить, что частота прецессии вихревой структуры, образующейся в цилиндрическом канале примерно в 6 раз меньше чем у основного вихревого ядра, который образуется в завихрителе. Таким образом, пульсации, генерируемые основным ПВЯ и вторичным вихрем в цилиндрической камере, относятся к разным частотным диапазонам и поэтому можно ожидать отсутствие их взаимного влияния.

Двухфазный поток. Приведем результаты, полученные при исследовании закрученного двухфазного потока в вихревой камере. В качестве несущей среды выступает вода, а роль дисперсной фазы играет воздух. Исследование прецессии вихря в газожидкостном потоке проводилось для параметра крутки $S = 2,4$.

Эксперименты показали, что при появлении газа в потоке происходит эффективная сепарация фаз, которая обусловлена действием центробежных сил. На рис. 10 представлена мгновенная картина течения ($Q_{ж} = 9 \text{ м}^3/\text{ч}$, $Q_{газа} = 0,005 \text{ м}^3/\text{ч}$), полученная с помощью высокоскоростной съемки потока, которая демонстрирует, что пузырьки газа формируют воздушное ядро, которое расположено вдоль оси вихря.

Добавление газа в поток существенно влияет на пульсации давления, регистрируемые на выходе из сопла. На рис. 11 представлены спектры пульсаций давления на выходе из сопла для случая короткой камеры с $L/D = 2,5$. Частотные спектры получены при параметре крутки 2,4, расходе жидкости $Q_{ж} = 14 \text{ м}^3/\text{ч}$ и при разных расходах газа ($Q_{газа} = 0, 0,3, 3 \text{ м}^3/\text{ч}$). На всех спектрах наблюдается ярко выраженный пик. Частота, соответствующая данному пику, является

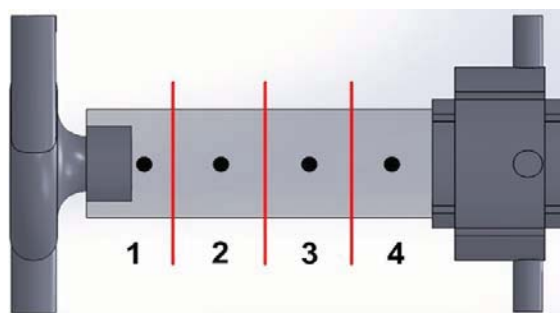


Рис. 8. Четыре положения датчиков давления

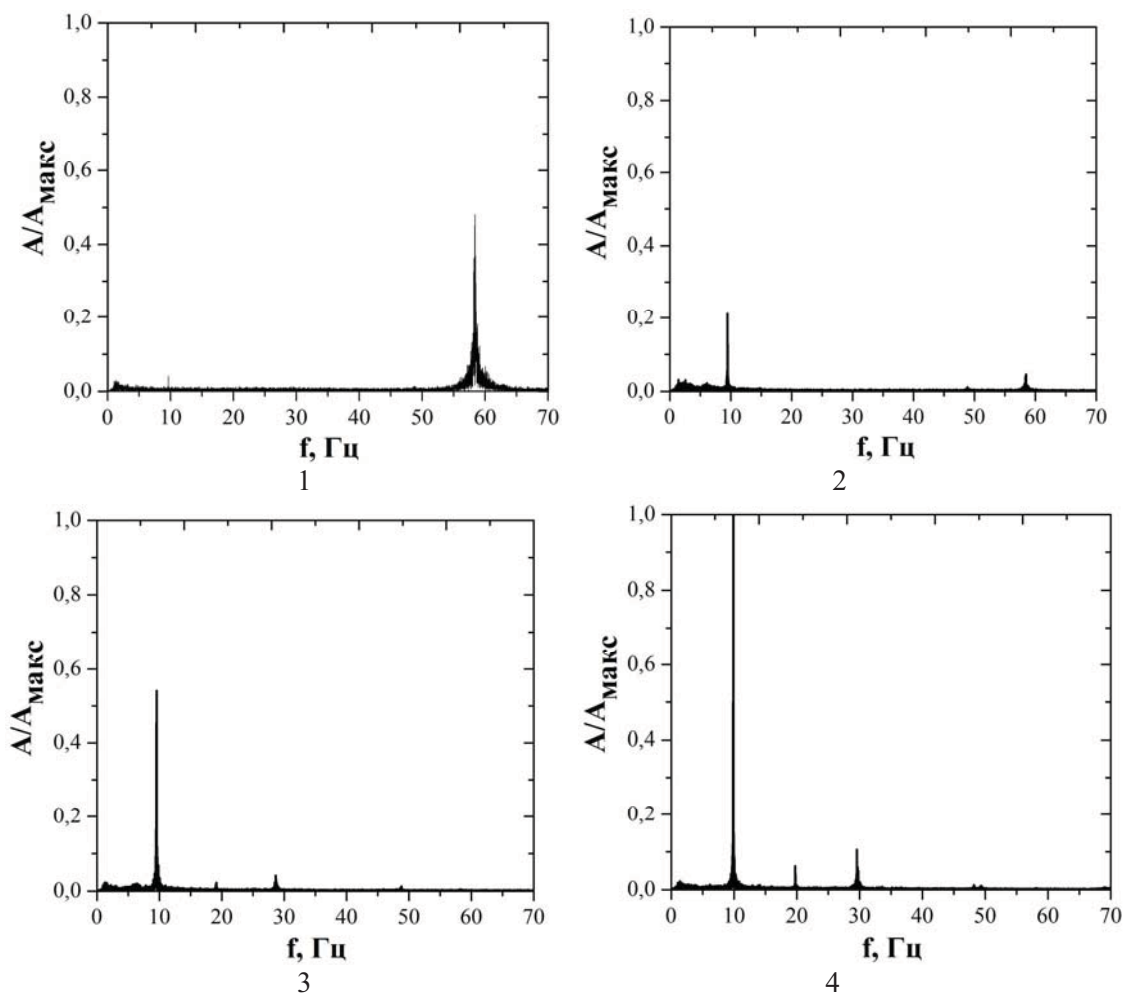


Рис. 9. Спектры пульсаций давления для четырех положений датчиков ($Q_{ж} = 14 \text{ м}^3/\text{ч}$)

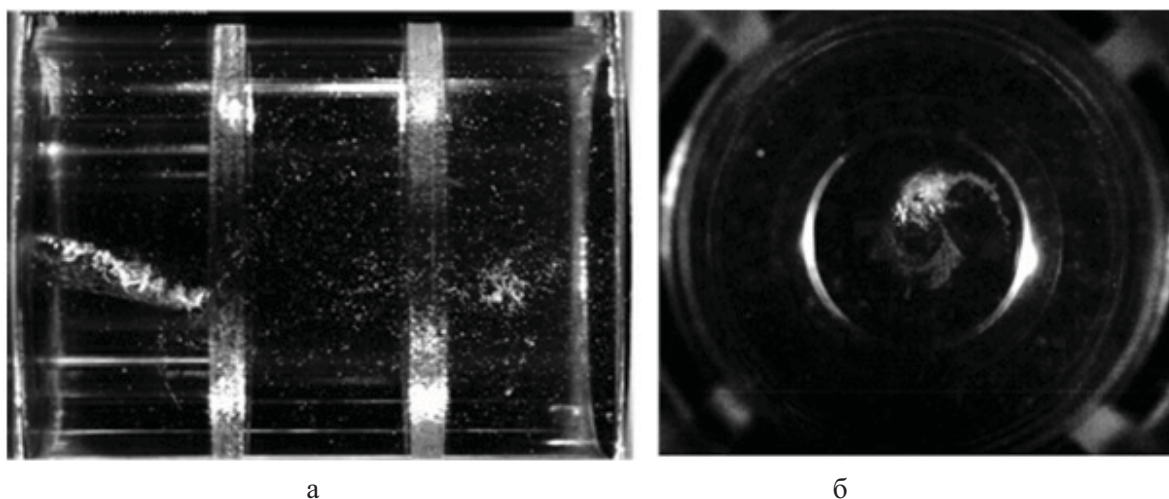


Рис. 10. Мгновенная картина течения в вихревой камере, демонстрирующая образование воздушного ядра:
а – съемка в продольном сечении; *б* – съемка в поперечном сечении

частотой прецессии ПВЯ. При увеличении расхода газа происходит уменьшение частоты

и также наблюдается падение амплитуды пульсаций давления.

Выше было отмечено, что при удлинении вихревой камеры в два раза частота прецессии основного вихревого ядра в однофазном потоке не изменяется, хотя длина влияет на формирование вторичных вихревых структур в цилиндрической области. Данное явление визуализируется добавлением газовой фазы в поток. На рис. 12 представлены снимки закрученного двухфазного потока для двух конфигураций вихревой камеры.

В результате действия центробежных сил пузырьки газа в закрученном потоке формируют воздушные жгуты, расположенные вдоль осей вихревых структур. Высокоскоростная съемка потока в камере с $L/D = 5$ ($Q_{ж} = 12 \text{ м}^3/\text{ч}$, $Q_{газа} = 0,01 \text{ м}^3/\text{ч}$) показала наличие достаточно интенсивного прецессирующего вторичного вихря в цилиндрической области. На рис. 12, *а* представлена визуализация потока в продольном сечении. На рис. 12, *б* приведена съемка двухфазного потока в короткой камере с $L/D = 2,5$ ($Q_{ж} = 6 \text{ м}^3/\text{ч}$, $Q_{газа} = 0,02 \text{ м}^3/\text{ч}$). Видно, что в отличие от камеры с $L/D = 5$ в цилиндрической области происходит образование пары слабо выраженных прецессирующих вторичных вихревых структур. Исходя из того,

что геометрия выхода не оказывает существенного влияния на параметры основного ПВЯ, дальнейшие исследования были выполнены для короткой камеры. Обоснованием этого служит также тот факт, что в короткой камере образуется менее интенсивная вторичная вихревая структура, которая, соответственно, будет оказыва-

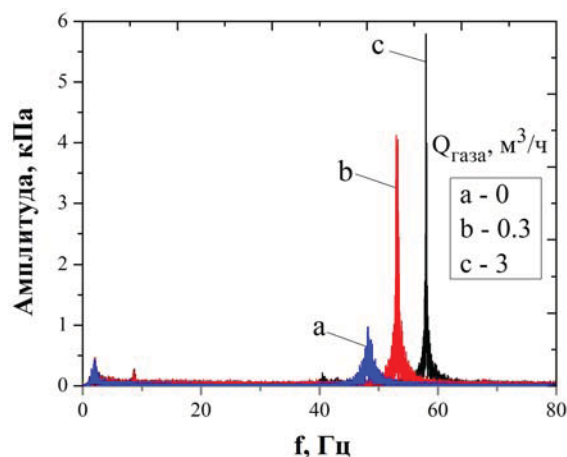


Рис. 11. Спектр пульсаций давления над соплом при разном расходе газа

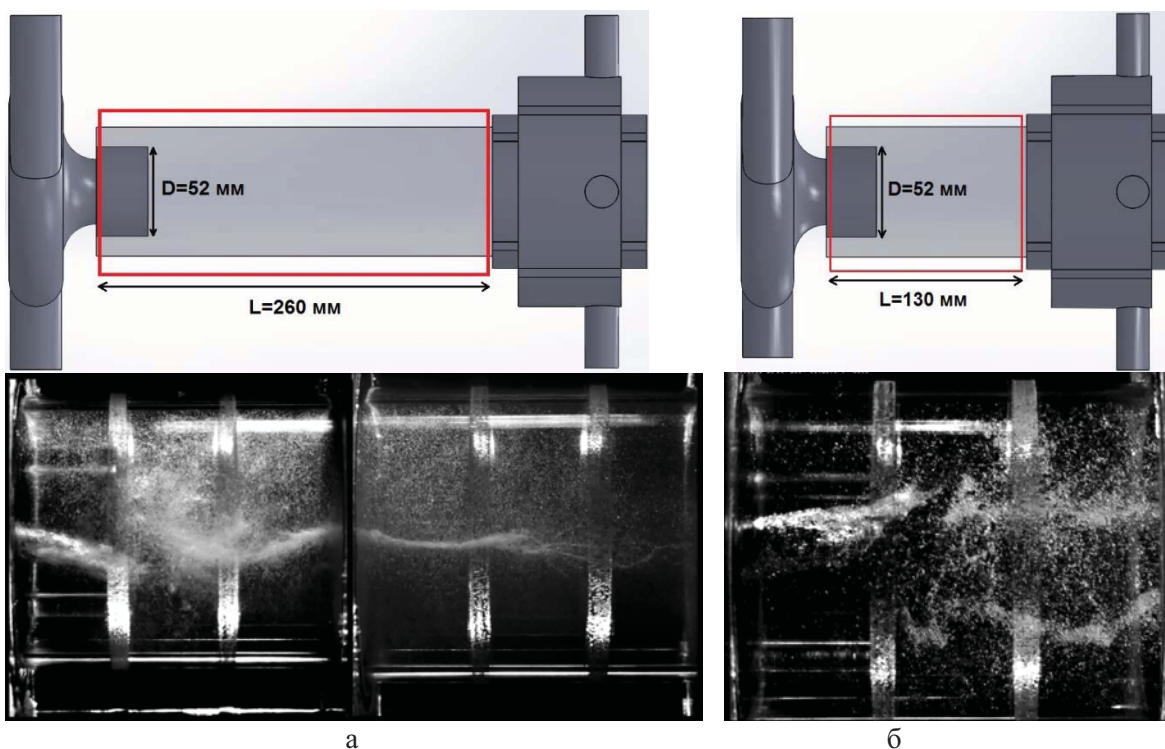


Рис. 12. Мгновенная картина вихревого течения двухфазного потока в камере, демонстрирующая образование вторичных вихревых структур. Конфигурация камеры: *а* – $L/D = 5$; *б* – $L/D = 2,5$

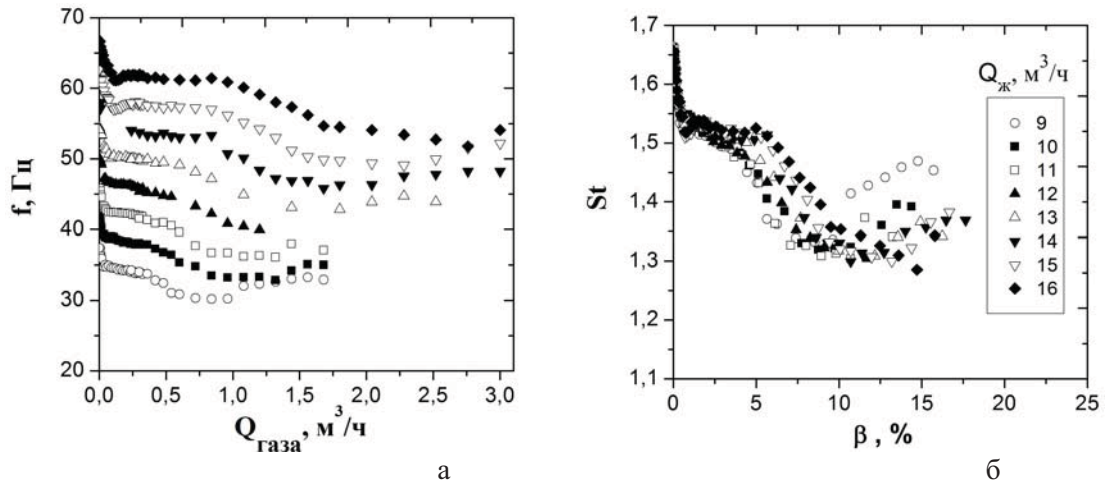


Рис. 13. Зависимость частоты прецессии ПВЯ от расхода газовой фазы (а) и числа Струхала от расходного газосодержания в потоке (б) при различных расходах жидкости

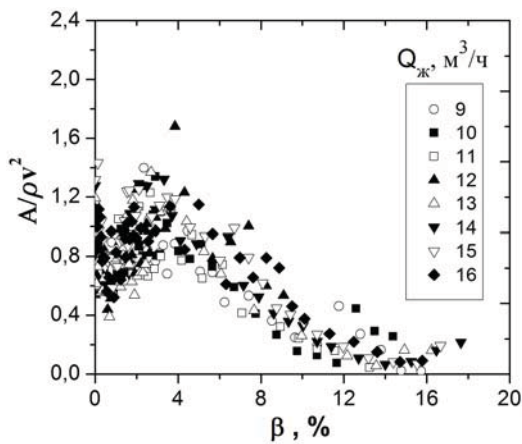


Рис. 14. Зависимость безразмерной амплитуды спектра пульсаций давления от расходного газосодержания (в)

вать более слабое воздействие на основное ПВЯ.

Для конфигурации камеры с $L/D = 2,5$ были проведены параметрические исследования влияния газовой фазы на основные интегральные характеристики потока, такие как частота прецессии, амплитуда пульсаций давления и полный перепад давления. Измерения проводились для одного параметра крутки $S = 2,4$. Диапазон расходов газа варьировался от 0 до 3 $\text{m}^3/\text{ч}$, а диапазон расхода жидкости $Q_{\text{ж}}$ менялся от 9 до 16 $\text{m}^3/\text{ч}$. На рис. 13 представлена зависимость частоты прецессии ПВЯ от расхода газа.

На данных графиках видно, что при появлении газовой фазы в потоке частота пре-

цессии резко падает. При дальнейшем увеличении газосодержания наблюдается дальнейший, но более медленный спад. Для обобщения данных рассмотрена безразмерная характеристика потока – число Струхала $St = fD/v$, где f – частота прецессии, D – диаметр сопла, v – среднерасходная скорость жидкости в сопле. На рис. 13, б представлена зависимость St от расходного газосодержания $\beta = Q_{\text{газа}}/(Q_{\text{ж}} + Q_{\text{газа}})$. Видно, что в области газосодержания до 5 % кривые для разных расходов жидкости практически совпадают. При увеличении газосодержания происходит небольшое расслоение. Наибольшее отличие от средних значений наблюдается при меньших расходах жидкости.

Добавление газа в поток влияет не только на частоту прецессии вихря, но и на амплитуду пульсаций давления. На рис. 14 приведена зависимость от расходного газосодержания амплитуды спектра пульсаций давления за соплом, нормированной на ρv^2 , где ρ – плотность жидкости, v – среднерасходная скорость жидкости в сопле. При появлении газа в потоке наблюдается резкое снижение пульсаций давления, затем происходит рост пульсаций. Пик расположен в районе газосодержания 3 %, после чего дальнейший рост газосодержания в потоке ведет к уменьшению амплитуды пульсаций вплоть до полного подавления ПВЯ.

На рис. 15, а показана зависимость полного перепада давления dP от расхода газа. Видно, что при появлении газа в потоке происходит падение полного перепада дав-

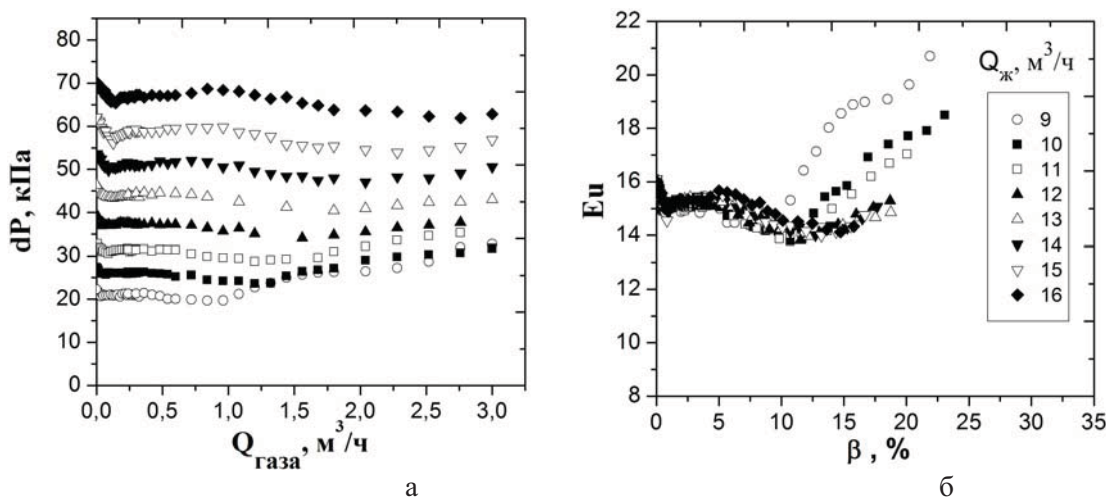


Рис. 15. Зависимость полного перепада давления от расхода газовой фазы (а) и числа Эйлера от расходного газосодержания (б) при различных расходах жидкости

ления на 9 % (при газосодержании 1 %). В случае однофазного потока жидкости в центре сопла формируется концентрированный вихрь, который после появления газа в потоке переходит в более широкий кольцевой вихрь с воздушным ядром. Для генерации менее концентрированного вихря требуется меньший избыточный напор перед завихрителем.

После достижения минимума перепад сначала медленно растет, затем несколько уменьшается до некоторого минимума и опять начинает расти при больших значениях газосодержания. Эти стадии в общем повторяются для всех расходов жидкости, но характерные точки перехода между периодами роста и уменьшения при увеличении расхода жидкости сдвигаются в сторону больших расходов воздуха. Эти эффекты в более явном виде можно наблюдать на зависимостях полного перепада давления от расхода газа в безразмерных координатах (рис. 15, б). В качестве безразмерного критерия для полного перепада используется число Эйлера ($Eu = \Delta P / \rho v^2$) [7]. На представленных графиках наблюдается хорошее обобщение полученных экспериментальных данных при газосодержании $\beta < 10\%$. Однако дальнейшее увеличение расходного газосодержания ведет к расслоению кривых, в частности, для расхода меньше $11 \text{ м}^3/\text{ч}$. Одной из причин этого может быть влияние плавучести газовой фазы при низких скоростях потока.

Заключение

Таким образом, в работе проведено исследование закрученного однофазного и двухфазного потока в гидродинамической вихревой камере с тангенциальным завихрителем. В случае потока чистой жидкости выявлено образование интенсивного прецессирующего вихревого ядра в сопле. Было подтверждено, что зависимость частоты прецессии ПВЯ от расхода жидкости является линейной, а зависимость полного перепада давления от расхода жидкости имеет квадратичный вид. При этом на графиках в безразмерных величинах, $St(Re)$ и $Eu(Re)$, в диапазоне чисел Рейнольдса от 50 000 до 120 000 наблюдается автомодельность процесса. Удалением выходной секции от среза сопла на удвоенное расстояние было показано, что выходные условия не влияют на параметры основного ПВЯ, которое образуется в сопле завихрителя. В случае потока двухфазной смеси высокоскоростная съемка выявила образование воздушного ядра в центре вихревого ядра. Добавление газа в поток жидкости существенно меняет измеренные интегральные характеристики потока. Влияние газовой фазы наиболее заметно при малых значениях газосодержания. Так, при газосодержании 1 % наблюдается снижение частоты прецессии на 7 %, уменьшение перепада давления на 9 % и двукратный спад амплитуды периодических пульсаций давления. При дальнейшем уве-

личении газосодержания полный перепад давления меняется незначительно, однако периодические пульсации давления в камере существенно уменьшаются и при газосодержании 18–20 % практически исчезают, что говорит о полном подавлении ПВЯ. В безразмерном виде характеристики потока хорошо обобщаются, за исключением данных, соответствующих меньшим расходам жидкости ($Q_{ж} < 11 \text{ м}^3/\text{ч}$). Это может быть связано с влиянием плавучести газовой фазы при низких скоростях потока.

Список литературы

1. *Derksen J. J., Sundaresan S., van den Akker H. E. A.* Simulation of mass-loading effects in gas – solid cyclone separators // *Powder Technology*. 2006. Vol. 163. № 1–2. P. 59–68.
2. *Hreiz R., Gentric C., Midoux N., Laine R., Funfschilling D.* Hydrodynamics and velocity measurements in gas-liquid swirling flows in cylindrical cyclones // *Chemical Engineering Research and Design*. 2014. Vol. 92. № 11. P. 2231–2246.
3. *Yin J., Li J., Ma Y., Li H., Liu W., Wang D.* Study on the Air Core Formation of a Gas-Liquid Separator // *Journal of Fluids Engineering ASME*. 2015. Vol. 137 / 091301. P. 1–9.
4. *Anacleto P. M., Fernandes E. C., Heitor M. V., Shtork S. I.* Swirl flow structure and flame characteristics in a model lean premixed combustor // *Combust. Sc. Technol.* 2003. Vol. 175. No. 8. P. 1369–1388.
5. *Syred N.* A review of oscillation mechanisms and the role of the precessing vortex core (PVC) in swirl combustion systems // *Progress in Energy and Combustion Science*. 2006. Vol. 32. P. 93–161.
6. *Pejovic S.* Troubleshooting of turbine vortex core resonance and air introduction into the draft tube // *Proceedings of the XXI IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems*. Lausanne, 2002.
7. *Kuibin P., Pylev I., Zakharov A.* Two-phase models development for description of vortex induced pulsation in Francis turbine // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2012. Vol. 15. Art. No. 022001.
8. *Скрипкин С. Г., Куйбин П. А., Шторк С. И.* Влияние инъекции воздуха на параметры закрученного течения в модели отсасывающей трубы TURBINE-99 // *Письма в ЖТФ*. 2015. Т. 41, вып. 13. С. 48–55.
9. *Киясбейли А. Ш., Перельштейн М. Е.* Вихревые счетчики-расходомеры. М.: Машиностроение, 1974. 160 с.
10. *Кремлевский П. П.* Расходомеры и счетчики количества. Л.: Машиностроение, 1989. 701 с.
11. *Chenquan Hua, Yanfeng Geng.* Wet gas meter based on the vortex precession frequency and differential pressure combination of swirlmeter // *Measurement*. 2012. Vol. 45. P. 763–768.
12. *Винокуров А. П., Шторк С. И., Алексеенко С. В.* Исследование влияния газовой фазы на характеристики прецессирующего вихревого ядра в осесимметричной гидродинамической камере // *Теплофизика и аэромеханика*. 2014. Т. 24, № 6 (90). С. 803–806.
13. *Vinokurov A., Shtork S., Alekseenko S.* Experimental study of precessing vortex core in two-phase flow // *EPJ Web of Conferences*. 2015. Vol. 92. P. 687–693.
14. *Винокуров А. П., Шторк С. И., Алексеенко С. В.* Влияние дисперсной газовой фазы на характеристики прецессии вихря в закрученном газожидкостном потоке // *Письма в ЖТФ*. 2015. Т. 41, вып. 17. С. 61–67.
15. *Litvinov I. V., Shtork S. I., Kuibin P. A., Alekseenko S. V., Hanjalic K.* Experimental study and analytical reconstruction of precessing vortex in a tangential swirler // *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2013. Vol. 42. P. 251–264.
16. *Винокуров А. П., Шторк С. И., Алексеенко С. В.* Исследование нестационарных вихревых структур в осесимметричной гидродинамической камере // *Вестн. НГУ. Серия: Физика*. 2013. Т. 8, вып. 4.

R. R. Yusupov, S. I. Shtork, S. V. Alekseenko

*Institute of Thermal Physics of SB RAS
1 Acad. Lavrentiev Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation*

*Novosibirsk State University
2 Pirogov Str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation*

romansemsk@yandex.ru, shtork@itp.nsc.ru, aleks@itp.nsc.ru

STUDY OF STRONGLY SWIRLING GAS-LIQUID FLOWS IN A HYDRODYNAMIC VORTEX CHAMBER

The work is devoted to experimental study of one-phase and two-phase swirling flow in a horizontal vortex chamber with a tangential swirler. Special attention is paid to an emergence of unsteady vortex structures. Formation of a precessing vortex core (PVC) in the nozzle has been detected in the case of one-phase flow. Linear dependence of the PVC precession frequency and quadratic dependence of the full pressure drop in the vortex chamber on the fluid flow rate were confirmed experimentally. In the case of two-phase flow a high-speed visualization allowed to reveal the presence of the secondary vortex structures in cylindrical region behind the zone of sudden expansion. Adding a gas phase into the flow leads to a sharp decline of the precession frequency and full pressure drop decrease in the vortex chamber. The frequency smoothly decreases with further increase of gas content and pressure drop changes insignificantly: slightly increases or decreases depending on the water flow rate. At the same time there is a coherent change of the flow's integral characteristics at changing the flow rates of liquid and gas.

Keywords: swirling flow, vortex chamber, one-phase flow, two-phase flow, precessing vortex core (PVC), swirl parameter, vortex structures.