

в задержку входит не только время первой фазы БР, но и время развития пробоя воздушного разрядника после подачи на него запускающего импульса.

Полученные в работе экспериментальные результаты позволили установить, что многоканальность структуры БР связана с естественным временным разбросом возникновения разрядных каналов в различных точках поверхности электродов и условиями развития СР по диэлектрическому барьеру. Чем меньше разброс и скорость СР, тем слабее конкуренция между каналами, тем более однородным будет разряд, переходя в пределе в объемный.

Динамика БР определяется изменением в процессе разряда емкости между электродами, состоящей из емкости барьера и емкости газового промежутка. Амплитуда импульсов тока БР зависит от напряжения на электродах и величины емкости барьера.

Значительная плотность тока в каналах и крутизна переднего фронта импульсов позволяют с его помощью синхронно инициировать большое число автономных разрядов и формировать сильноточные многоканальные разряды.

Автор выражает благодарность В. И. Баюнову и М. И. Демидову за помощь при проведении экспериментов, а И. В. Подмошенскому, В. Я. Александрову и Е. А. Зобову за полезные обсуждения.

Поступила 14 II 1980

ЛИТЕРАТУРА

1. Филиппов Ю. В., Емельянов Ю. М., Семиохин И. А. Современные проблемы физической химии. Т. 2. М., изд. МГУ, 1968.
2. Павловская Е. Н., Подмошенский И. В., Яковлева А. В. Излучение барьерного разряда с конденсаторной керамикой. — ЖПС, 1974, т. 20, вып. 3.
3. Виноградов В. Ю., Павловская Е. Н., Подмошенский И. В., Яковлева А. В. Излучение барьерного разряда в азоте и его смесях с гелием. — ЖПС, 1976, т. 25, вып. 4.
4. Александров В. Я., Белошеев В. П. Установка для импульсного фотолиза с протяженным коллективным источником ВУФ-излучения. — ЖПС, 1977, т. 26, вып. 2.
5. Белошеев В. П. Авт. свид. № 641569. Бюл. изобр., 1979, № 1.
6. Белошеев В. П. Формирование многоканального искрового разряда в воздухе. — ЖТФ, 1979, т. 49, вып. 10.
7. Белошеев В. П. Сравнительное исследование одно- и двухканального разряда как источника света. — ЖПС, 1980, т. 32, вып. 3.
8. Андреев С. И., Зобов Е. А., Сидоров А. Н., Костоусов В. Д. Исследование длинной скользящей искры. — ПМТФ, 1980, № 1.

УДК 533.95; 538.4; 537.523

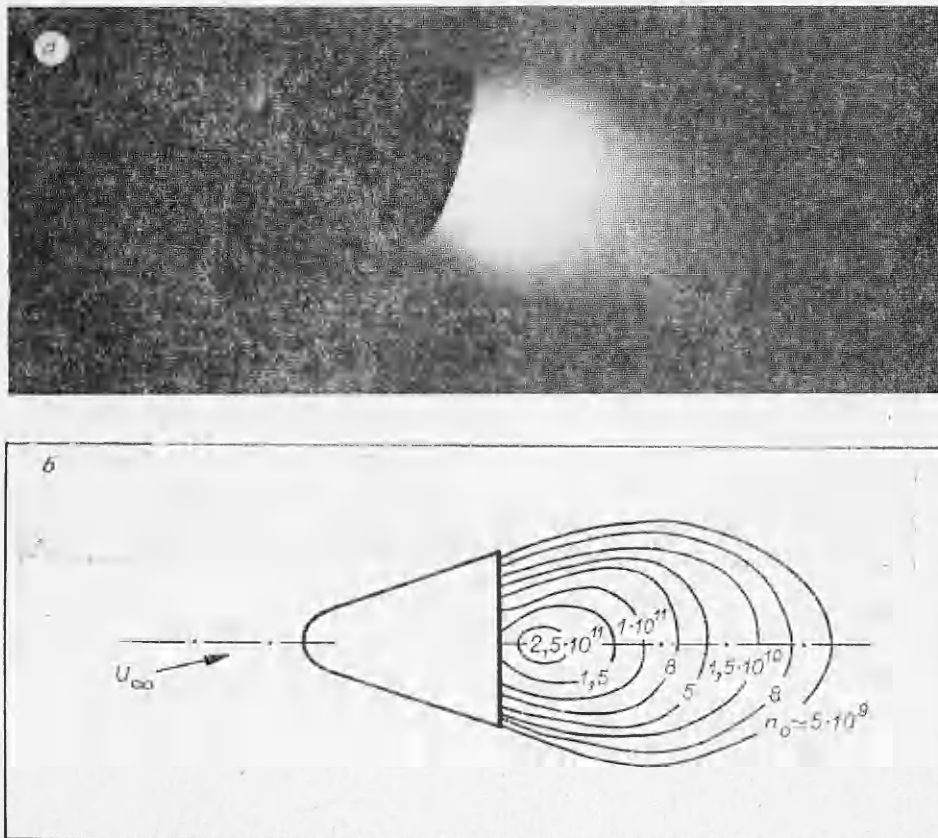
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЛАЗМЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ У ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА В ПОТОКЕ ЧАСТИЧНО ИОНИЗОВАННОГО ГАЗА

В. А. Шувалов

(Днепропетровск)

В работе [1] предложена методика создания около тел в потоке разреженной плазмы путем вдува нейтрального газа с поверхности с последующей ионизацией его электронным ударом искусственных плазменных образований. Понимание взаимосвязи между структурой плазменных образований у поверхности тел и функционированием различных систем представляет значительный интерес.

В данной работе приведены результаты исследования влияния потенциала поверхности тела на форму и структуру плазменных образований, генерируемых около металлического тела в потоке частично ионизованного азота.

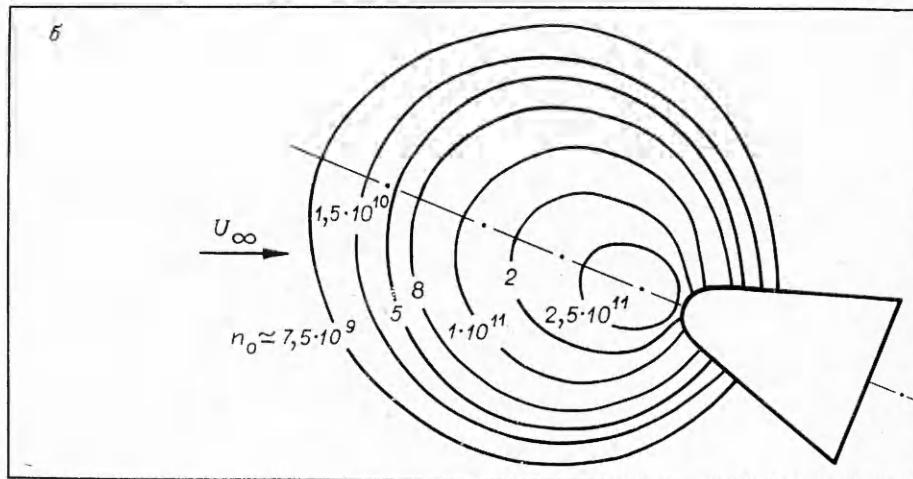


Ф и г. 1

Экспериментальные исследования проводились на плазменной газодинамической установке в потоке разреженной плазмы, генерируемом газоразрядным ускорителем. Поток плазмы поступал в рабочую камеру, давление остаточных газов в которой составляло $7 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст. Параметры потока плазмы при давлении в рабочей камере $\sim 1,6 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. определялись с помощью подвижных, установленных на координатнике, электрических зондов: одиночного цилиндрического зонда, изготовленного из молибденовой нити диаметром 0,09 и длиной 4,0 мм, и цилиндрического зонда, выполненного в виде термоанемометра [2], с рабочей частью, изготовленной из вольфрамовой нити диаметром 0,06 и длиной 6,5 мм. При измерениях особое внимание уделялось чистоте зонда. Непосредственно перед измерениями производился принудительный прогрев зондов до температуры ~ 1500 К, что дает возможность исключить влияние загрязнений на результаты измерений.

Потенциал плазмы определялся по методу второй производной, а также по электронной ветви зондовой характеристики, построенной в полупрологарифмическом масштабе. Кроме того, в ходе экспериментов измерялись плазменные шумы, собираемые зондом, что позволило дополнительно контролировать точность измерения потенциала плазмы. Обычно максимум плазменных шумов соответствует потенциалу пространства.

Энергия ионов потока с погрешностью не более 10% определялась по величине локального потенциала плазмы относительно анода источника. Измерения с помощью многоэлектродного зонда-анализатора свидетельствуют о небольшом разбросе ионов по энергиям.

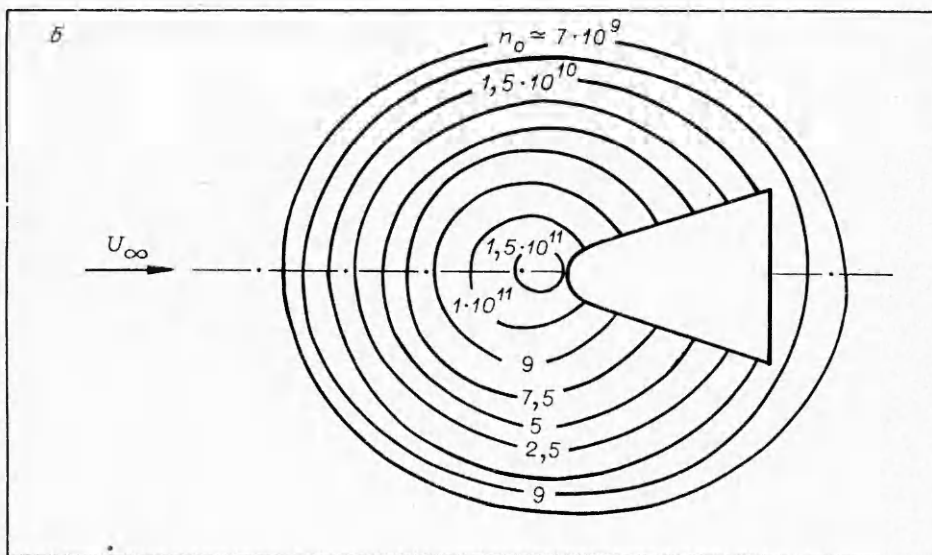
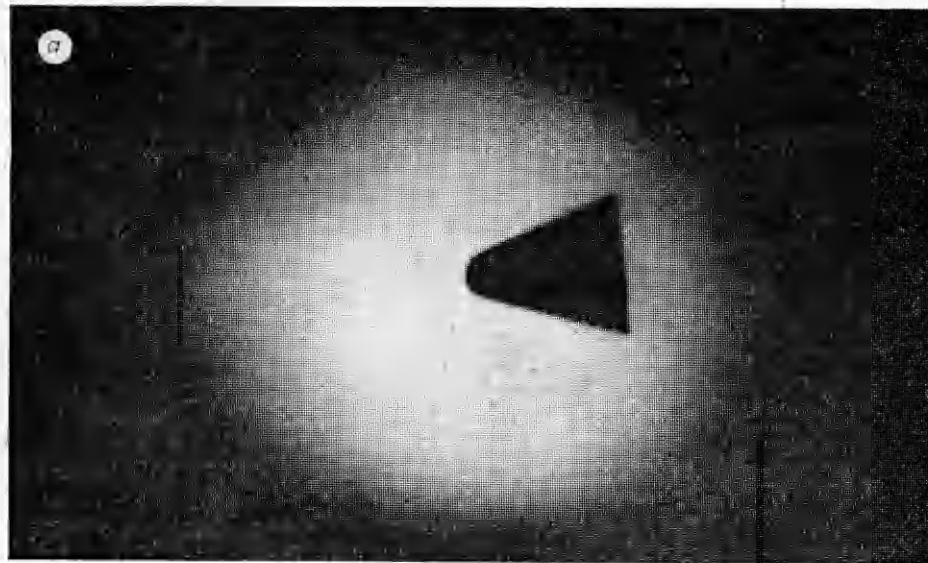


Ф и г. 2

Одиночный цилиндрический зонд, использовавшийся при измерениях параметров потока плазмы, мог совершать вращения вокруг горизонтальной и вертикальной осей от 0 до 212° . Вертикальное и горизонтальное вращение необходимо для получения абсолютного максимума ионного тока. Отношение $(j_i/j_i^\infty)_{\max}$ при $\theta = 0$, где $j_i^\infty = 2alN_\infty eU_\infty (\sin^2 \theta - 2eV/MU_\infty^2)^{0,5}$, использовалось в соответствии с теорией конечного эффекта цилиндрического зонда для определения температуры ионов потока [3]. Оказалось, что температура ионов T_i , как и температура электронов $T_e \approx 4,6 \cdot 10^4 \text{ K}$, практически постоянна в потоке $T_e/T_i \approx 7-10$.

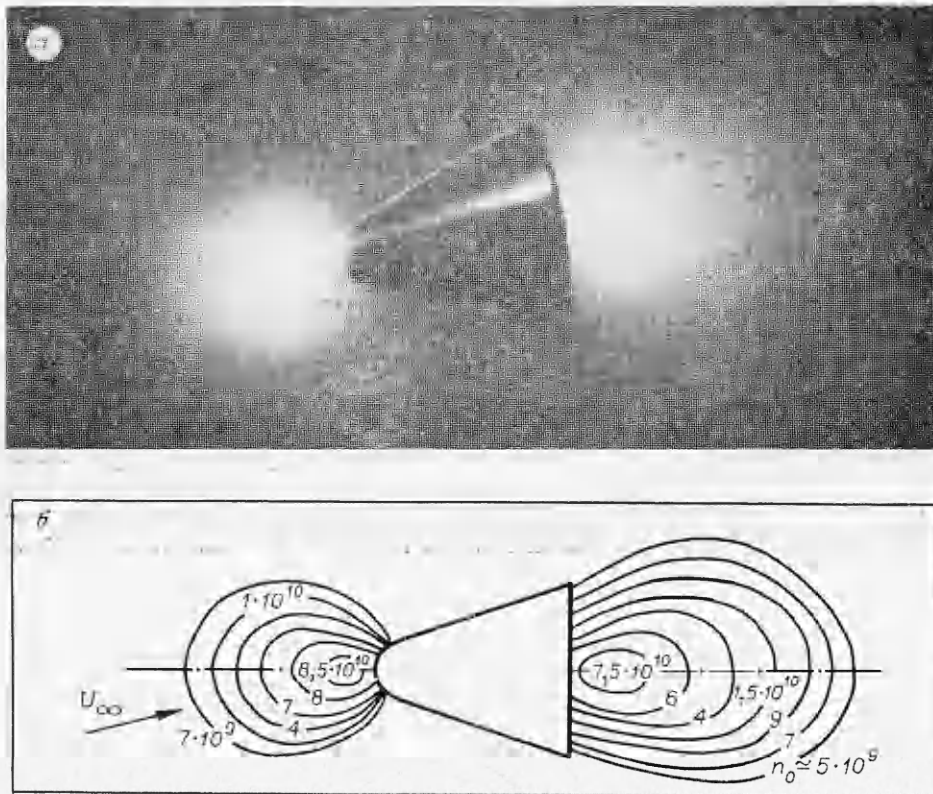
Исследования влияния потенциала поверхности тела на структуру плазменных образований около тела проводились в сечении струи с равномерным распределением параметров: напряженностью внешнего магнитного поля $H \approx 2\text{ Э}$, массовой скоростью потока $U_\infty \approx 23,0 \text{ км/с}$, концентрацией заряженных частиц $N_\infty \approx 3,7 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$.

В качестве модели использовался латунный конус с диаметром основания 56 мм, угол конуса $\sim 41^\circ$, и небольшим затуплением, выполненным в



Ф и г. 3

виде секущей сферы, радиусом $\sim 6,5$ мм. В корпус модели было помещено устройство с рабочим веществом (в данном случае полимеризованной эпоксидной смолой) типа [1]. Затупленный носок конуса являлся изолированным от корпуса дренажным электродом. В основании конуса также находился изолированный от корпуса металлический дренажный элемент. Для создания плазменных образований использовалась методика работы [1]. В ходе проведения эксперимента модель, расположенная на координатнике, могла совершать круговые вращения вокруг вертикальной оси. Для фиксированных значений потенциала поверхности модели и потенциала дренажных элементов структура плазменного образования практически не зависела от ориентации модели относительно вектора скорости потока. Размеры и структура плазменного образования



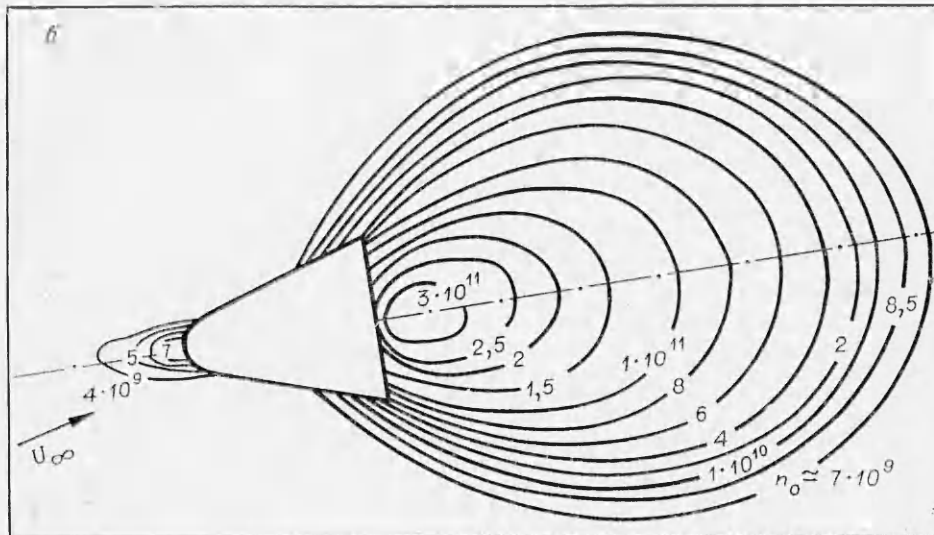
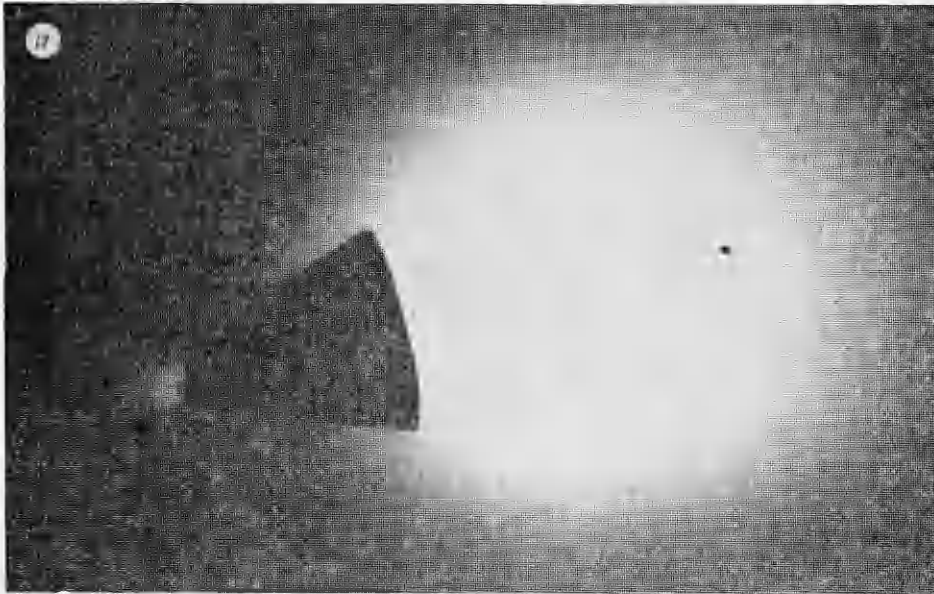
Ф и г. 4

существенно изменялись с изменением потенциала дренированного элемента, через который осуществлялся вдув нейтрального газа.

На фиг. 1 показано плазменное образование у основания конуса (вид сверху) в сверхзвуковом потоке частично ионизованного азота, полученное при $\Phi_{э.о} = e\varphi_{э.о}/kT_e \approx +7,6$ (где $\varphi_{э.о}$ — потенциал дренированного элемента основания конуса относительно потенциала плазмы), и «плавающим» потенциале * остальной поверхности модели. Конус находился под небольшим углом атаки $\sim 15^\circ$ относительно вектора скорости набегающего потока. С появлением плазменного образования давление в рабочей камере возросло до $\sim 3,5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. Распределение концентрации заряженных частиц (линии равной концентрации) в горизонтальной плоскости течения, измеренное цилиндрическим зондом, выполненным в виде термоанемометра, приведено на фиг. 1, б. На фиг. 2, а показано плазменное образование у затупленного носка конуса при $\Phi_{э.н} \approx +11,3$ и «плавающим» потенциале остальной поверхности модели. Угол атаки в этом случае был $\sim 16,5^\circ$. Соответствующее распределение концентрации заряженных частиц иллюстрирует фиг. 2, б. По результатам зондовых измерений, в плазменном облаке присутствовали две группы электронов: одна с температурой, равной температуре электронов в набегающем потоке, и другая с температурой $T_e \approx 2,5 \cdot 10^4$ К.

Фиг. 3 иллюстрирует плазменное образование, полученное у поверхности модели за счет изменения (по сравнению со случаем, приведенным на фиг. 2) потенциала корпуса до $\Phi_s = \Phi_{э.н} = \Phi_{э.о} \approx +13,1$. Вдув нейт-

* «Плавающий» — равновесный отрицательный потенциал, который приобретает тело в потоке разреженной плазмы.



Ф и г. 5

рального газа при этом также осуществлялся через носок конуса. Структура образования была близка к сферической (фиг. 3, б). Уменьшением потенциала поверхности модели до $\Phi_s \approx +10,4$ можно преобразовать это облако в эллипсоидальное.

На фиг. 4 показаны плазменные образования, созданные около модели при двустороннем вдуве нейтрального газа для $\Phi_{э.н} = \Phi_{э.о} \approx +5,7$ и «плавающем» потенциале боковой поверхности конуса. Изменением потенциалов дренажных электродов до значений $\Phi_{э.н} \approx +1,9$ и $\Phi_{э.о} \approx +13,8$ при «плавающем» потенциале боковой поверхности конуса плазменные образования были преобразованы к виду, приведенному на фиг. 5.

Проведенные исследования показывают, что при создании около тел в сверхзвуковом потоке разреженной плазмы искусственных плазменных

образований путем вдува нейтрального газа с поверхности с последующей ионизацией его электронным ударом структура таких образований существенно зависит от потенциала тела и его элементов.

Поступила 1 XI 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. Губин В. В., Ковтуненко В. М., Резниченко Н. П., Шувалов В. А. Генерирование плазменных образований у поверхности тел в потоке частично ионизованного газа.— ТВТ, 1977, т. 15, № 4.
2. Хаазен А. М., Шувалов В. А. Определение параметров частично ионизованного газа термоанемометром.— ЖТФ, 1966, т. 36, № 2.
3. Sanmartin I. R. End effect in langmuir probe response under ionospheric satellite conditions.— Phys. Fluids, 1972, vol. 15, N 6.

УДК 532.526+532.527

ТРЕХМЕРНЫЕ ВИХРЕВЫЕ СТРУКТУРЫ В КАВЕРНАХ

В. Д. Жак, В. А. Мушин, В. Е. Накоряков

(Новосибирск)

В настоящее время в теоретических работах, посвященных исследованию течения жидкости в плоской каверне, используются два основных подхода.

Первое направление рассматривает движение идеальной жидкости. Прандтль впервые высказал предположение о постоянстве завихренности в зоне с замкнутыми линиями тока. Это допущение впоследствии было строго доказано в работе [1] для двумерной области. Возникает задача о склейке внешнего потенциального течения над каверной и течения с постоянной завихренностью в каверне (задача [2]). В такой постановке решение получено в работе [3].

Второе направление учитывает влияние вязкости в зоне смешения (над верхним срезом траншеи) и в пограничных слоях (вдоль всех стенок каверны). В этом случае завихренность определяется из рассмотрения баланса сил на подвижной и неподвижной границах вихря [4—6]. Проведены и численные решения уравнений Навье—Стокса, но только в двумерной постановке. Данные же многих экспериментальных работ указывают на существование трехмерных течений в плоских кавернах за уступами, перед выступами. В [7, 8] измерено распределение давления на дне и передней стенке каверны с визуализацией течения на дне сажемасляной смесью, обнаружены трехмерные структуры для неглубоких каверн $H/L > 0.4$ при турбулентном режиме течения. Здесь H , L — глубина и хорда каверн. В [9] на основании измерений профилей скорости методом стробоскопической визуализации за уступом, а в [10] лазерно-доплеровским измерителем скорости в каверне были сделаны выводы о существовании трехмерных течений как при ламинарном, так и при турбулентном течении. Структура трехмерных образований остается неясной. Данная работа предпринята с целью изучения вихревых течений в двумерных кавернах.

Экспериментальное исследование проведено на установке с плоским каналом сечением 10×100 мм ($h = 10$, $B = 100$ мм). Движение рабочей жидкости (дистиллированная вода) в канале осуществлялось за счет перепада высот верхнего и нижнего баков постоянного уровня. Вода из верхнего бака через успокоительную камеру (сечением 120×100 мм) с хонейкомбом и конфузуром попадала в рабочий канал, длина которого 2000 мм. Хонейкомб изготовлен из тонкостенных никелевых трубочек (толщина стенок 0,1 мм, диаметр 5 мм, длина 50 мм). Каверна образована внезапным расширением одной из стенок рабочего канала на расстоянии 1500 мм от входа. Расход воды измерялся диафрагмой, установленной за рабочим участком перед сливом жидкости в нижний бак. Температура воды в контуре поддерживалась постоянной.