

УДК 532.525.6

ВЛИЯНИЕ ВДУВА ГАЗА НА БРЫЗГОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ

Г. Ю. САВЧЕНКО

Институт гидромеханики НАН Украины, Киев

Получено 10.02.2003

В работе излагаются результаты экспериментального исследования влияния подачи воздуха через перфорированную поверхность на ее сопротивление в брызговом потоке. Показано, что с помощью поперечно-рядового распределения поддува газа возможно значительное снижение брызгового сопротивления пластины в брызговом потоке, и проведена соответствующая количественная оценка параметров поддува. Обнаружено преимущество ребристых поверхностей в реализации механизма снижения брызгового сопротивления. Максимальный эффект снижения брызгового сопротивления для ребристых поверхностей составил 300 % по отношению к затраченному импульсу для сдува брызг.

У праці викладені результати експериментального дослідження впливу подачі повітря через перфоровану поверхню на її опір у брызговому потоці. Показано, що за допомогою поперечно-рядового розподілу піддуву повітря можливе значне зниження брызгового опору пластины у брызговому потоці, і проведена відповідна кількісна оцінка параметрів піддуву. Виявлена перевага ребристих поверхонь при реалізації механізму зниження брызгового опору. Найбільший ефект зниження опору для ребристих поверхонь склав 300 % по відношенню до витраченого імпульсу для сдуву брызг.

Results of an experimental investigation of air supply influence through the perforated surface to its drag in a spray flow are expounded in the article. Ability of significant reduction of a spray drag of a plate in a spray flow with the help of a cross rows gas distribution is shown and the correspondent amount estimation of air feed parameters is done. An advantage of the ribbed surface in the realization of the spray drag reduction mechanism has been found. A maximal effect of the spray drag reduction for the ribbed surface is 300% in comparison to the used for a spray blow off impulse.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос взаимодействия брызгового потока с поверхностью и влияние брызг на формирование картины обтекания этой поверхности рассмотрен в ряде работ [1–5]. В частности, в статьях [4, 5] проанализированы возможные схемы взаимодействия движущихся капель с потоком газа, вдуваемого через перфорированную поверхность. Результаты проведенных исследований позволили обосновать важный механизм автоматического поддержания воздушного зазора между перфорированной поверхностью, через которую вдувается воздух, и капельным потоком, движущимся вдоль поверхности и взаимодействующим с ней. Известно, что создание такого слоя может значительно снизить гидродинамические силы, обусловленные сплошным или двухфазным потоком [2, 4]. В связи с этим становится актуальной задача по оценке затрачиваемой энергии на вдув газа и оптимизации вдува воздуха через перфорированную поверхность.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Установка, созданная для проведения исследований (рис. 1), позволяла регулировать и контроли-

ровать расход и давление подаваемого на перфорированную поверхность l воздуха. Для создания брызгового потока служило щелевое сопло 3 , в которое под давлением подавалась вода. Положение сопла регулировалось по высоте и могло поворачиваться. Регулировалось также расстояние h между поверхностью потока воды и перфорированной поверхностью. В процессе эксперимента динамометром 2 измерялась сила трения R , действующая со стороны брызгового потока на испытываемую поверхность. Чтобы оценить влияние вдуваемого через перфорированную поверхность l газа на величину силы трения, создаваемую на этой поверхности брызговым потоком различной интенсивности, было проведено три серии испытаний.

Брызговой поток, полученный при распаде истекающей из щелевого сопла плоской струи воды, направлялся на поверхность модели под углом $\alpha = 3 - 6^\circ$. Расстояние от среза сопла до переднего края модели $l = 0.65$ м. Сечение щели сопла – 280×1.2 мм. Давление в камере сопла изменялось в пределах 0.1 – 0.3 МПа.

Испытания проводились с двумя моделями перфорированной поверхности. Модель №1 с ребристой поверхностью представляла собой прямоугольную дюралюминиевую пластину 406×200 мм площадью 0.0812 м². Верхняя поверхность пластины имела профильные пазы треугольной формы с внутренним углом 40° , глубиной 5 мм, шагом 5 мм,

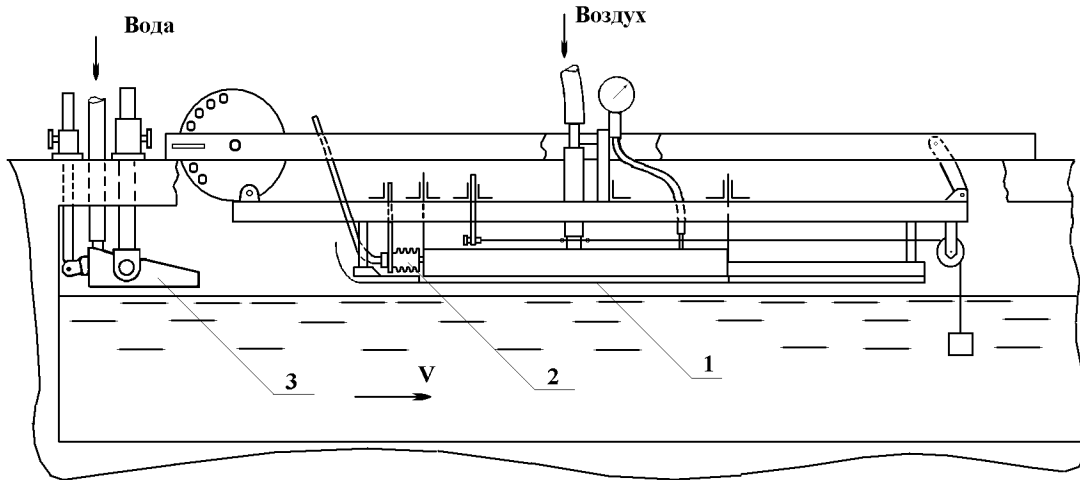
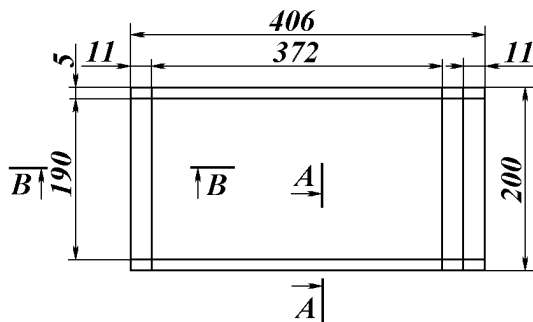
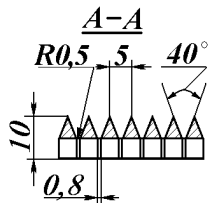
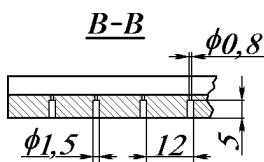


Рис. 1. Схема экспериментальной установки



Поверхность №1



Поверхность №2

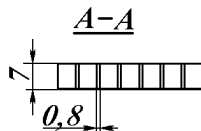
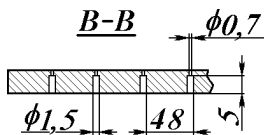


Рис. 2. Схема перфорированной поверхности:
а – модель №1; б – модель №2

внутренним радиусом закругления 1 мм и острыми наружными ребрами (рис. 2, а). По впадинам полос просверлены отверстия диаметром 0,8 мм и с продольным шагом 12 мм (всего 32 ряда по 40 отверстий). Модель №2 (рис. 2, б) представляла

собой пластину с плоской гладкой поверхностью тех же размеров в плане с отверстиями диаметром 0,7 мм, просверленными с поперечным шагом 3 мм и продольным 48 мм (всего 7 рядов по 65 отверстий).

В эксперименте устанавливались следующие параметры:

вид проницаемой поверхности – модели № 1 и № 2;

расстояние от проницаемой поверхности до свободной поверхности воды $h=65$ мм;

угол наклона брызгового потока $3^\circ \div 6^\circ$;

количество рядов открытых отверстий в перфорированной поверхности № 1: 4, 8, 16, 32. или 7 рядов для модели № 2, что пропорционально влияет на параметр S – суммарную площадь открытых отверстий;

Во время эксперимента измерялись следующие величины параметров:

давление воды перед брызговым соплом – P_C [Па];

давление газа в камере перед подачей на перфорированную поверхность P_r , [Па];

сопротивление трения перфорированной поверхности модели № 1 и № 2 при наличии подвода воздуха R [Н];

сопротивление трения пластины без поддува R_o [Н].

По установленным и измеренным величинам рассчитывались:

импульс воздушного потока, вдуваемого через перфорированную поверхность (затраченный (управляющий) импульс), рассчитываемый по

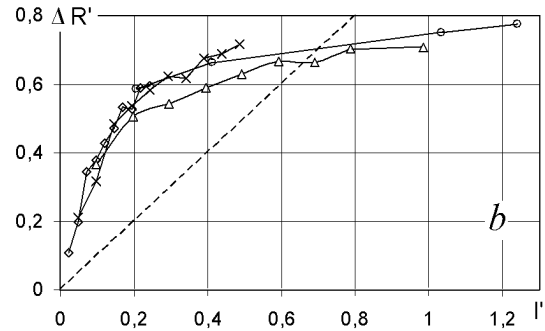
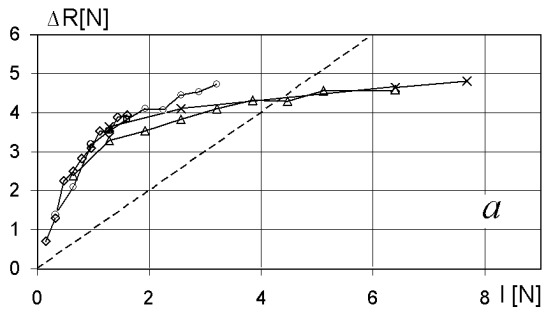


Рис. 3. Зависимости $\Delta R(I)$ и $\Delta R'(I')$ для модели N° 1:
 a - $\diamond - n = 4$, $\circ - n = 8$, $\Delta - n = 16$,
 $\times - n = 32$, - - - - $\Delta R = I$;
 b - $\diamond - n = 4$, $\times - n = 8$, $\Delta - n = 16$,
 $\circ - n = 32$, - - - - $\Delta R' = I'$

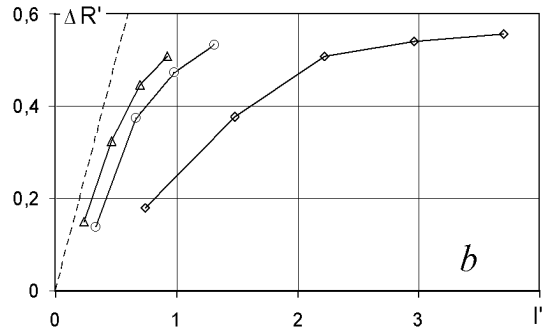
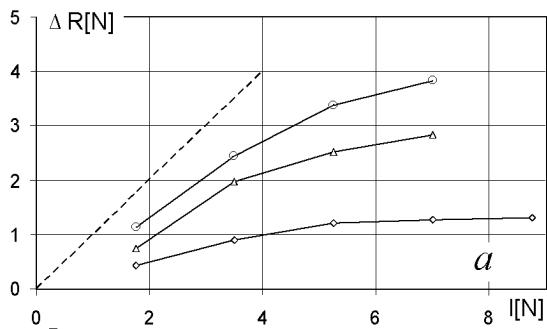


Рис. 4. Зависимости $\Delta R(I)$ и $\Delta R'(I')$ для модели N° 2:
 a - $\Delta - P_c = 1.1 \cdot 10^5$ Pa, $\circ - P_c = 1.65 \cdot 10^5$ Pa,
 $\diamond - P_c = 2.4 \cdot 10^5$ Pa, - - - - $\Delta R = I$;
 b - $\diamond - P_c = 1.1 \cdot 10^5$ Pa, $\circ - P_c = 1.65 \cdot 10^5$ Pa,
 $\Delta - P_c = 2.4 \cdot 10^5$ Pa, - - - - $\Delta R' = I'$

формуле:

$$I = \rho_r q V = \rho_r S \frac{2P_r}{\rho_r} = 2SP_r \text{ [H]};$$

изменение брызгового сопротивления пластины (снижение сопротивления):

$$\Delta R = R_o - R \text{ [H]};$$

импульс брызгового потока, подаваемого на пластину:

$$I_C = \rho_B S_C \frac{2P_C}{\rho_B} = 2S_C P_C \text{ [H]};$$

скорость брызговой струи:

$$V_C = \sqrt{\frac{2P_C}{\rho_B}} \text{ [м/с]};$$

снижение сопротивления пластины, безразмерное:

$$\Delta R' = \frac{R_o - R}{R_o};$$

импульс поддува или затраченный импульс при воздействии на брызговое течение, безразмерный:

$$I' = \frac{I}{R_o} = \frac{2SP_r}{R_o};$$

коэффициент брызгового сопротивления:

$$c_B = \frac{2R_o}{\rho V_C^2 S};$$

скорость капель при перед щелевым соплом:

$$V = \sqrt{\frac{2P_C}{\rho}} \text{ [м/с]}.$$

Испытания проводились в следующем порядке.

Модель проницаемой поверхности устанавливалась над рабочей поверхностью на заданном расстоянии h . Создавая брызги щелевым соплом 3 (см. рис. 1), добивались максимально возможной

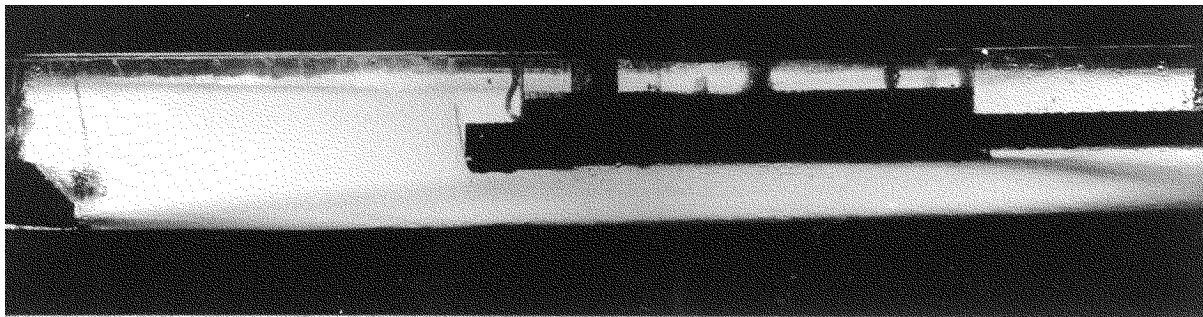
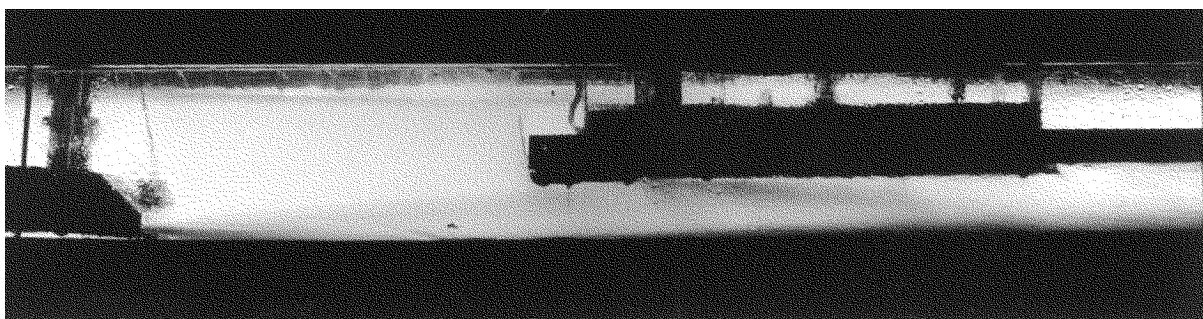


Рис. 5. Пристеночное течение без поддува.

Рис. 6. Пристеночное течение с поддувом ($P_{\Gamma} = 10^4$ [Па]).

величины брызгового сопротивления R_0^0 , испытуемого моделью. Затем подавали воздух через отверстия модели, увеличивая избыточное давление над отверстиями P_{Γ} в пределах от 0 до $7 \cdot 10^4$ Па и измеряли силу сопротивления R , действующую на модель. Прекратив подачу воздуха, для контроля снова измеряли брызговое сопротивление R_0^1 без поддува.

Для исследования влияния равномерности и интенсивности поддува испытания проводились с различным числом рядов открытых отверстий: 4, 8, 16, 32.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Результаты эксперимента представлены зависимостями снижения брызгового сопротивления ΔR от величины импульса поддуваемого воздуха (затрачиваемого импульса) I (рис. 3, а, 4, а) и в безразмерном виде, где ΔR и I отнесены к начальному брызговому сопротивлению R_0 (рис. 3, б, 4, б).

Боковые виды картины пристеночного брызго-

вого течения без поддува показаны на рис. 5 и при наличии поддува $P_{\Gamma} = 10^4$ [Па] – на рис. 6.

Приведенные фотографии наглядно демонстрируют механизмы сдува слоя воды и отброса брызгового потока от обтекаемой перфорированной поверхности, через которую выдувается воздух.

Импульс брызгового потока I_C при изменении давления перед соплом $P_C = 1.1 \times 10^5 \div 2.5 \times 10^5$ Па изменялся в пределах:

$$I_C = 2S_C P_C = 2 \cdot 0.28 \cdot 0.0012 \cdot (1.1 \div 2.5) \cdot 10^5 = \\ = 74 \div 168 [H].$$

При этом скорость в струе достигала величины:

$$V = \sqrt{\frac{2P_C}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (1.1 \div 2.5) \cdot 10^5}{998}} = \\ = 14.8 \div 22.4 [м/с].$$

Поскольку струя направлена на пластину под углом $3^\circ \dots 6^\circ$, то нормальная к поверхности составляющая будет равна:

$$I_n = I_C \sin(\alpha) = (74 \div 168) \cdot (0.052 \div 0.11) =$$

$$= 3,848 \div 17.56[H].$$

Анализ экспериментальных результатов показывает, что увеличение импульса поддува не всегда сопровождается адекватным снижением сопротивления. Так, величина поддува в пределах $I' \leq 0.5$ приводит к резкому падению сопротивления $\Delta R'$ до $0.5 \div 0.7$. А дальнейшее повышение импульсного поддува $I' > 0.5$ приводит к асимптотическому снижению брызгового сопротивления.

Эксперименты на модели N° 2 (гладкая пластинка с 7-ю рядами круглых отверстий диаметром 0.7 мм, см. рис. 2, б) продемонстрировали аналогичное поведение кривых относительно нейтральной штриховой линии, которая является линией равных импульсов (затраченного и выигрываемого). Однако в этом случае эксперимент показал (рис. 4), что все кривые лежат в области $I' > \Delta R'$, что означает превышение затрат над выигрышем в сопротивлении.

По-видимому, такой эффект следует отнести к особенностям конструкции и формы плоской поверхности с перфорацией. Анализ эксперимента с моделью поверхности N° 1 (ребристая поверхность рядами отверстий во впадинах) показывает, что нейтральная штриховая линия делит область экспериментальных значений $\Delta R'$ на две части, где $I' > \Delta R'$ и $I' < \Delta R'$. При этом в области $I' < \Delta R'$ выигрыш в снижении сопротивления над затраченным импульсом может достичь 200-300% (рис. 4).

Сопоставляя импульс вдуваемого газа I с величиной нормальной составляющей импульса брызгового потока I_n , можно отметить, что выигрыш в сопротивлении в области $\Delta R' > I'$ обеспечивался управляющим воздействием, меньшим ($I \leq 4$ [Н]), чем среднее значение импульса нормальной составляющей брызгового потока $I_n = 10.7$ [Н].

Анализ экспериментов с моделью N° 1 показал, что эффективное снижение сопротивления происходит при поддуве, осуществляющемся с шагом между задействованными рядами отверстий 96 мм (4 ряда) и 48 мм (8 рядов). Дальнейшее снижение интервала между рядами до 24 мм (16 рядов) и 12 мм (32 ряда) к заметному росту эффекта снижения сопротивления не приводит.

В последующих исследованиях было бы интересно рассмотреть приложение полученных результатов к снижению сопротивления при сплошном обтекании поверхностей [5, 6] и при искусственной суперкавитации для малых зазоров между поверхностью и границей каверны.

ВЫВОДЫ

Обнаружено преимущество ребристых поверхностей в реализации механизма снижения брызгового сопротивления. Таковое следует отнести на счет вспомогательной роли ребер в направлении струй при их формировании.

Оптимальные величины импульса при вдуве воздуха через перфорацию при использовании модели с поверхностью тип N° 1 лежат в области $I' \approx 0.3$.

Достаточным интервалом для оптимального распределения поддува по перфорированной поверхности N° 1 является интервал 50...100 мм, при котором реализуется оптимальный режим снижения сопротивления.

Максимальный достигнутый эффект снижения брызгового сопротивления для проницаемой поверхности N° 1 составляет 300% по отношению к затраченному импульсу для сдува брызг.

1. Бодырев А.А., Рыков В.Н. Сопротивление пластины в брызговом потоке // Труды ЦАГИ.– 1989.– Вып. 2452.– С. 35-39.
2. Рыков В.Н. Сопротивление твердой поверхности в потоке водяных брызг // Труды ЦАГИ.– 1986.– 2330.– С. 20-25.
3. Воронин В.В., Капанкин Е.Н. О взаимодействии жидких капель с твердой поверхностью // Труды ЦАГИ.– 1986.– 2330.– С. 3-19.
4. Савченко Г.Ю. Исследование сил, возникающих на пластине в брызговом потоке // Вестник НТУУ “КПИ”, Машиностроение.– 1999.– 36, N 2.– С. 362-369.
5. Савченко Г.Ю. Исследование брызгового слоя вблизи твердой поверхности // Гидромеханика.– 2003.– том 5 (77) N 4.– С. 58-63.
6. Keizo Watanabe Drag reduction research in Japan/ Proc. International Symposium on Seawater drag Reduction.– Newport: RJ, 1998.– P. 19-31.