

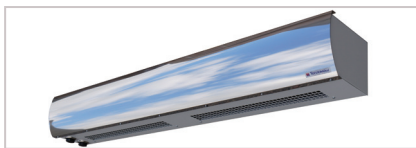


Завод «Тепломаш» — 20 лет стремления к совершенству!

В 2012 году один из ведущих российских производителей теплового оборудования — ЗАО «Научно-производственное объединение «Тепломаш» — отмечает свой 20-летний юбилей. Основанный в 1992 году в Санкт-Петербурге, завод за два десятка лет превратился в современное высокотехнологичное предприятие с совершенной производственно-технической базой, с торговыми подразделениями на территории Евразии и Северной Америки.

В 21 веке, пожалуй, каждая третья тепловая завеса на рынке России это завеса «Тепломаш». Доверие потребителей основано на многолетнем опыте использования оборудования «Тепломаш». За десятилетия эксплуатации выясняются все достоинства и недостатки любой техники. А если техника служит долго, надежно, то лучшая замена оборудования после полной выработки моторесурса — это такой же надежный современный агрегат «Тепломаш», модернизированный и усовершенствованный.

Гарант надежности — профессиональный подход «НПО «Тепломаш» к каждому произведенному заводом изделию, будь то миниатюрный офисный тепло-вентилятор или высокопроизводительная промышленная завеса. Грамотно сконструированная, правильно подобранная



проектировщиком и умело смонтированная монтажником тепловая завеса ежегодно экономит заказчику тысячи рублей, многократно сокращая расходы на отопление и кондиционирование помещений.

ЗАО «НПО «Тепломаш», изначально ориентированное на искушенного потребителя, конструирует завесы так, чтобы они при любых погодных условиях обеспечивали эффективную защиту проемов, будь то небольшие двери офиса или высокие ворота цеха.

Научный подход, тщательный подбор комплектующих и оптимальный производственный цикл позволили ЗАО «НПО «Тепломаш» стать флагманом в изготовлении тепловых завес. Широкий типоразмерный ряд завес с разбивкой по сериям в зависимости от высоты перекрываемого проема (от «100 серии» — офисной, до «800» — промышленной) позволяет заказчику легко ориентироваться в ассортименте завода. Для проектировщиков разрабатывается специальная программа, которая позволит

подобрать тепловые завесы для дверных и воротных проемов практически любой ширины и высоты.



Специалисты понимают, что завеса должна в первую очередь выполнять свое основное предназначение, т.е. плотным воздушным потоком перекрыть открытый проем и таким образом оградить помещение от проникновения в него холодного уличного воздуха зимой и теплого летом. Некоторые производители завес зачастую лукавят, указывая максимальную высоту установки завесы, а потом делают маленькую сноску, что они не гарантируют полного эффективного перекрытия дверного проема. Уделяя большое внимание таким важным для заказчика показателям, как дизайн, цвет и цена завесы, они упускают главное — их завесы должны обеспечивать защиту дверного проема. Вместо того чтобы стать для заказчика источником экономии, завесы зачастую превращаются в источник дополнительных затрат на восполнение выдуваемого из помещения на улицу тепла.

Чтобы повысить осведомленность покупателей и заказчиков об эффективных завесах, инженеры завода «Тепломаш», совместно с Ассоциацией

предприятий индустрии климата и российскими производителями теплового оборудования разработали «Методику проведения верификации воздушных завес». Методика позволяет установить соответствие или несоответствие технических характеристик завес с заявленными производителем данными.

Естественно, что для различных условий эксплуатации нужны завесы с разными техническими характеристиками. Для автомоек «Тепломаш» сконструировал специальные завесы 400 серии (IP54), с повышенной коррозионной стойкостью. Возможны варианты изготовления корпуса из оцинкованной или нержавеющей стали.



Кроме технических параметров в завесах «Тепломаш» привлекают удобство управления и дизайн. У всех завес, кроме тех, у которых элементы управления расположены непосредственно на корпусе, в комплект поставки входит эргономичный проводной пульт управления.

Все завесы, кроме серий 500, 700, 800 и завес для автомоек, дополнительно к проводному пульту управления комплектуются еще и беспроводным инфракрасным пультом. Пульт позволяет включать оборудование в режиме нагрева на 100% и на 50% мощности, а также в режиме вентилятора



(без нагрева), устанавливать три скорости вращения вентилятора и задавать требуемую температуру воздуха вблизи проема.

Дизайн завес «Тепломаш», устанавливаемых в офисах и торговых центрах, выигрышно подчеркивает их функциональность. Возможны изготовление элементов корпуса завес из нержавеющей стали или окраска по каталогу RAL, которая поможет вписать завесу любой серии в самый изысканный интерьер.

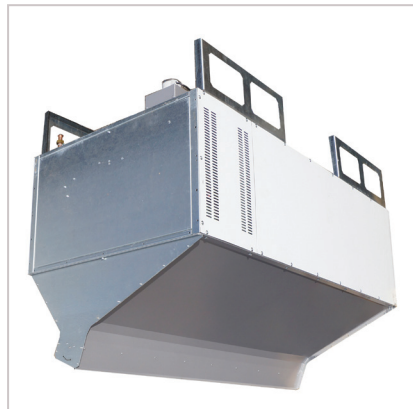
Инженерами завода также создана особая, дизайнерская, 600-я серия завес, в которых технологичное внутреннее содержание приобрело свой неповторимый облик.



Вертикальные завесы «Колонны» с корпусом из полированной нержавеющей стали украшают торговые центры не только центральных городов России, но и крупных городов Северной Америки. Тепловые завесы горизонтальной установки «Эллипс» и «Линза» со встроенными светильниками органично смотрятся в помещениях с дизайнерским интерьером.

Конечно, воздушные тепловые завесы отличаются не только дизайном и производительностью по воздуху, немаловажным фактором является возможность подобрать завесу с нужным

теплоносителем. НПО «Тепломаш», ставя во главу угла энергоэффективность, выпускает завесы с разными источниками тепла. Если к объекту подведена горячая вода, есть сбросной пар или природный газ, то существует возможность дополнительно сэкономить на эксплуатационных расходах. Практически все завесы с 200-й по 700-ю серию выпускаются как с электрическими нагревательными элементами, так и с водяными теплообменниками. Естественно, все завесы комплектуются пультами управления, а к водяным завесам можно подобрать обвязку водяного калорифера. Для промышленных предприятий с большими производственными площадями «Тепломаш» рекомендует оборудование прямого нагрева, работающее на природном газе. Эксплуатационные расходы у газового оборудования будут ниже, а обогрев эффективнее и экономичнее.



Кстати, об экономии. В теплое время года воздушные завесы важны не меньше, чем зимой. Воздушные завесы предназначены для разделения различных климатических зон воздушным потоком. Зимой и летом эти зоны меняются местами, но назначение завес остается прежним. Расходы на кондиционирование супермаркетов, где двери круглый год открыты, сравнимы по стоимости с расходами на отопление. Воздушная тепловая завеса летом в режиме вентиляции позволяет экономить средства на кондиционирование, мощным воздушным потоком предотвращая проникновение теплого воздуха в помещение.

«Тепломаш» производит уникальные завесы 800-й серии без нагревательных элементов, которые эффективны и зимой и летом для защиты высоких, до 12 метров, и широких воротных проемов, когда нагрев больших объемов воздуха, прокачиваемых через завесу, нецелесообразен.

Большой популярностью у потребителей завода «Тепломаш» пользуются также водяные, электрические и га-

зовые тепловентиляторы. Воздушное отопление электрическими тепловентиляторами «Тепломаш» хорошо зарекомендовало себя в зданиях, где подвод других теплоносителей (горячая вода, газ) невозможен или нецелесообразен. Электрические тепловентиляторы широко применяются на строительных площадках, складских ангарах, на морских судах, в сельскохозяйственных зданиях, на объектах, удаленных от городских коммуникаций. На тех объектах, где вода или газ уже подведены, «Тепломаш» рекомендует устанавливать водяные или газовые тепловентиляторы — они экономичны и экологичны, а их дизайн удовлетворит самого взыскательного заказчика.



Кроме хорошо известных электрических, водяных и газовых тепловых завес и тепловентиляторов у завода «Тепломаш» достаточно широкий ассортимент вентиляционного и климатического оборудования, чтобы быть поставщиком для монтажной компании, устанавливающей различные инженерные системы.

Тщательный подбор комплектующих и многоступенчатый контроль качества готовых изделий обеспечивает безотказность и долговечность оборудования в различных климатических условиях. Отлаженный производственный цикл, широкий модельный ряд оборудования, обширная складская программа, развитая дилерская сеть и оперативная логистика обеспечивают быстрое изготовление и своевременную поставку продукции в любой регион. Наличие региональных складов в Санкт-Петербурге, Москве, Киеве, Новосибирске, Екатеринбурге, Нижнем Новгороде, Тольятти позволяет оперативно отгружать складские позиции.

Собственные научные разработки, модернизированная производственная база и многолетний опыт эксплуатации оборудования позволяют заводу «Тепломаш» постоянно совершенствовать выпускаемую продукцию, сохраняя лидерство в производстве теплового оборудования.

www.teplomash.ru



Автоколебания встречных струй в проеме, защищенном двусторонней боковой завесой

Ю. Н. Марр, главный конструктор ЗАО «НПО «ТЕПЛОМАШ»

Общепринятое представление о структуре потоков в защищенном завесой проеме опирается на стационарный режим течения [1]. Однако хорошо известно, что колебательный характер несвободных струйных течений — широко распространенное явление. Достаточно вспомнить истекающую из трубы дымовую струю в сносящем воздушном потоке или взаимодействии двух встречных затопленных плоских струй с попеременным их разворотом в поперечном направлении в противоположные стороны [3].

Автоколебания струй обнаружены и при математическом моделировании нестационарных течений. Так, в [4] сообщается о хлыстообразном поведении плоской струи, истекающей из щели в сносящем потоке в канале. В [5] зафиксированы автоколебания плоской струи односторонней боковой завесы. В [6] изучено автоколебательное взаимодействие двух встречно направленных струй в ячейке воздураспределителя. Экспериментальное подтверждение автоколебаний по [6] получено в [7]. Все это наводит на мысль, что взаимодействие встречных струй двусторонней боковой завесы также должно носить автоколебательный характер.

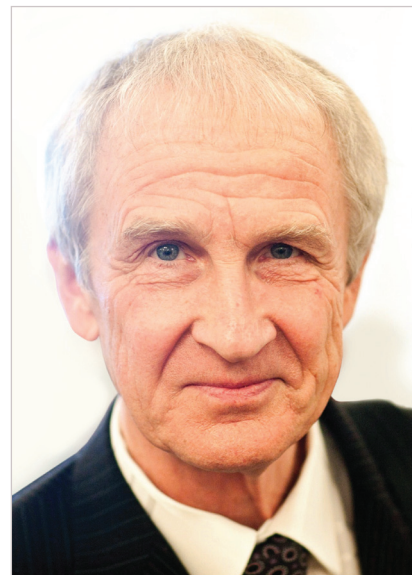
Автоколебания встречных струй боковых завес, помимо тривиального научного интереса, имеют важное значение в обосновании некоторых особенностей аэродинамики и теплообмена в защищенном проеме. Поперечное перемещение заворачивающих в проем встречных струй и связанное с этим перемешивание воздушных масс лежит в основе такого, например, допущения, как равенство температуры эжектируемых изнутри помещения масс не температуре внутреннего воздуха, а температуре втекающей в проем смеси [1, 2]. В [1] это допущение принято скорее интуитивно, без ссылки на колебательные процессы. В [2] оно сознательно введено в тепловую схему двусторонней завесы, тогда как в схемах верхней и од-

носторонней боковой завес, у которых подобного перемешивания нет, эжектируемые изнутри массы имеют температуру внутреннего воздуха. Такая дифференциация тепловых схем делает при прочих равных условиях двусторонние завесы менее эффективными в сравнении с верхними и односторонними, поскольку температура втекающей смеси у двусторонних завес получается более низкой.

В настоящей работе рассмотрены колебательные модели в несвободных струйных течениях, даны оценки параметров колебаний и приведены результаты экспериментального исследования автоколебаний встречных струй в проеме.

Полное описание автоколебаний струй на основе уравнений движения — сложная расчетная задача даже при наличии современных программ. Можно сильно упростить колебательную модель, заменив непрерывное поле течения сплошной среды дискретными механическими объектами — аналогами струй. Разумеется, такое упрощение уносит многие интересные детали движения. Вместе с тем, в зависимости от проработки механической модели, параметры колебательного процесса определяются иногда не только по порядку величины, но и по самой величине.

Рассмотрим, например, встречные плоские струи, истекающие со скоростью U_0 из сопел шириной B , расположенных на расстоянии L друг от друга [3]. Схема потоков изображена на рис. 1а, согласно [3], для трех моментов времени $t = 0 / 0,25T / 0,5T$, где T — период автоколебаний. При всех деформациях и перемещениях струи ее можно представить как некую динамическую цельность с характерным масштабом S , наделенную динамической же квазиупругостью. Под квазиупругими силами понимаются центробежные силы, действующие на движущиеся по криволинейной траектории массы.



Юрий Николаевич Марр

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник отдела перспективных разработок ЗАО «НПО «Тепломаш», специалист в области теплообмена и прикладной гидроаэродинамики.

В 1963 году окончил энергомашиностроительный факультет Ленинградского политехнического института имени М. И. Калинина.

В 1969 году защитил кандидатскую диссертацию.

С 1963 по 1990 г. работал в ЛенНИИхиммаше на научных должностях.

С 1999 года работает в ЗАО «НПО «Тепломаш».

Автор более 60 научных трудов, в том числе 1 книги и 26 изобретений.

Разработки Ю. Н. Марра последних лет реализованы в продукции ЗАО «НПО «Тепломаш».

Упрощенная схема струи дана на рис. 1б. На характерной длине $S \approx AB$ струя имеет постоянный радиус кривизны R , начало которого расположено на оси Y . Треугольники AED и ABC подобны, откуда

$$BC/AE = AB/AD \text{ или } \varphi S / 0,5S = S/R \text{ и } R = S/2\varphi, \quad (1)$$

где φ — угол отклонения струи от оси X , а характерную длину S можно принять $S = L$.

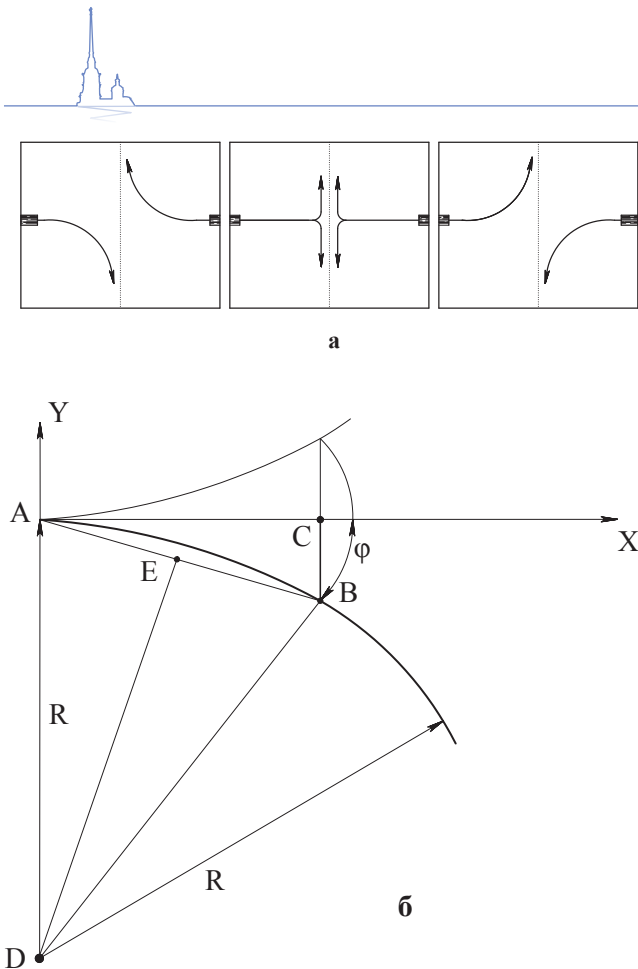


Рис. 1. Схема взаимодействия встречных плоских струй по [3]:
 а – схема течения для трех моментов времени $\tau = 0 / 0,25T / 0,5T$;
 б – колебательная схема струи

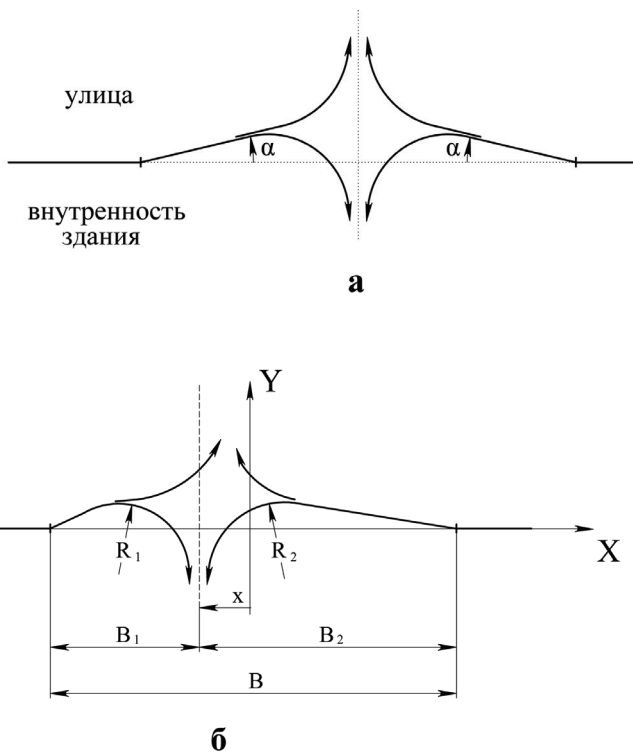


Рис. 2. Схема взаимодействия встречных плоских струй
 двусторонней боковой завесы:
 а – осредненная стационарная картина течения;
 б – один из моментов автоколебаний

GEA

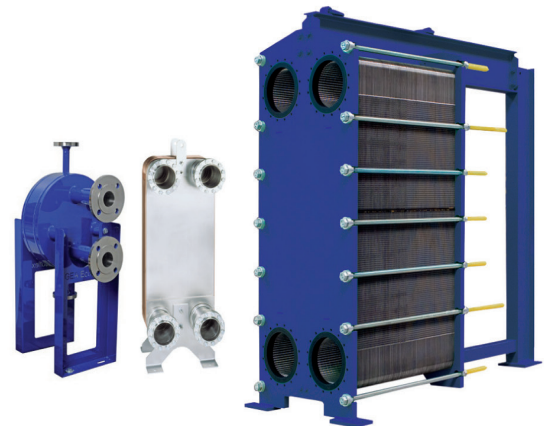


Гарантия Вашего комфорта

Компания GEA Mashimpeks производит и поставляет теплообменное оборудование для систем теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования:

- Разборные и паяные пластинчатые теплообменники
- Сварные теплообменники
- Модульные тепловые пункты

Многолетний опыт работы GEA Mashimpeks гарантирует Вам оптимальное энергоэффективное решение задач теплообмена.



GEA Heat Exchangers
 GEA Mashimpeks

ГЕА Машимпэкс

Россия, 105082, г. Москва, ул. Малая Почтовая, 12
 Тел: +7 (495) 234-95-03 • Факс: +7 (495) 234-95-04
 info@mashimpeks.ru • www.gea-mashimpeks.ru





а



б

Рис. 3. Фотографии визуализации течения в проеме струйками пара:
а — момент мелкомасштабного движения;
б — момент непосредственно перед крупномасштабной закруткой потока

Задавшись линейным приближением текущей толщины струи на характерной длине S , а также используя условие сохранения потока импульса вдоль струи, можно рассчитать момент инерции струи и упругий момент центробежных сил. Собственная частота как корень квадратный из отношения упругого момента к моменту инерции получится в виде

$$f = (1/\pi)(U_0/L)(1/\sqrt{F}), \quad (2)$$

откуда число Струхаля

$$Sh = fL/U_0 = 0,318/\sqrt{F}, \quad (3)$$

где по аналогии с завесами введен параметр $F = L/2B$. По [3] период колебаний струи $T = 6L/\bar{u}$, где \bar{u} — некая скорость одиночной струи на длине $L/2$.

Если имеется в виду максимальная скорость на оси струи, то $\bar{u} = 2,59U_0/\sqrt{(L/2B)}$ и $Sh^* = 0,432/\sqrt{F}$ (4)

Если под \bar{u} понимать среднемассовую скорость, то

$$\bar{u} = \zeta U_0 \text{ и } Sh^* = 0,241/\sqrt{F}, \quad (5)$$

где $\zeta = 1/(0,69\sqrt{L/B})$ — коэффициент относительного расхода плоской струи с учетом коэффициента деформации струи $\xi = 0,8$ по [8].

Расчетное значение (3) находится между (4) и (5), что можно считать хорошим результатом.

Рассмотрим теперь поведение сталкивающихся плоских струй, истекающих из сопел двусторонней боковой завесы на проеме размерами H^*B_{np} . Под действием гравитационного и ветрового давления струи заворачивают в проем. Если параметр $q = G_3/(G_{np} + G_3)$ равен критическому значению $q^* = 2\zeta/(1 + \zeta)$ по [2], где $\zeta = G_3/G_c$ — коэффициент расхода струи с расходом G_c , то обе струи затекают в проем практически без взаимодействия, полностью увлекая с собой эжектированные снаружи массы воздуха. Здесь по [2]

$$\zeta = 0,85/(0,69\sqrt{(F/\cos\alpha)}), \quad (6)$$

$$F = HB_{np}/2HB = B_{np}/2B, \quad (7)$$

где B — ширина сопла, α — угол между вектором скорости струи в со-

пле и плоскостью проема. Если $q > q^*$, то часть эжектированных снаружи масс отсоединяется и уходит обратно на улицу. Стационарная интерпретация такого течения представлена на рис. 2а. Однако столкновение струй не может давать устойчивую симметричную картину. Возмущения приведут к развитию автоколебаний. Один из моментов такого движения изображен на рис. 2б.

Для описания колебательного взаимодействия струй введены следующие понятия:

— мгновенные характерные длины затекания струй B_1 и B_2 (см. рис. 2б),

— мгновенные радиусы кривизны затекающих струй R_1 и R_2 , в дальнейшем принятые равными половинам B_1 и B_2 соответственно,

— квазиупругая сила взаимодействия струй, равная разности проекций на ось X центробежных сил, действующих на заворачивающие в проем массы,

— часть расхода струи, заворачивающая в проем и определяемая по [2] через коэффициент расхода струи ζ по (6) и параметр q .

Использование в динамической модели выражений, заимствованных из описания стационарной картины течения, опирается на предположение о малости характерного времени формирования струи в сравнении с периодом колебаний струйной структуры.

Оставляя за рамками статьи многочисленные алгебраические преобразования, приведем окончательное выражение частоты колебаний

$$f_0 = (1/2\pi\sqrt{2})(v_3/b_3)F^{-3/2}\sqrt{[1 + 4,35(1/q - 0,5)\sqrt{(\cos\alpha/F)}]\sqrt{\cos\beta}}, \quad (8)$$

$$Sh = f_0 B/v_3 = (1/\pi\sqrt{2})F^{-1/2}\sqrt{[1 + 4,35 \times (1/q - 0,5)\sqrt{(\cos\alpha/F)}]\sqrt{\cos\beta}}, \quad (9)$$

где β — угол между вектором центробежной силы в области взаимодействия и осью X . Интересно проверить выражение (9) прежде всего на результатах расчетного и экспериментального исследования взаимодействия сталкивающихся струй, истекающих из торцов арки, перекрывающей прямоугольное отверстие [6, 7]. Проводя аналогии этого случая с завесой на воротах, следует положить $\zeta \rightarrow 1$, откуда $q \rightarrow 1$, а значит и $q \rightarrow q^*$. Кроме того, $\alpha = \beta = 0$ и $F = l d/2(0,5 \pi d^2/4) = 4l/\pi d$. Как видно из табл. 1, числа Струхаля по (9) и по [6] удовлетворительно совпадают, что свидетельствует о правомерности качественной механической модели взаимодействия встречных струй.

Таблица 1

| l/d | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| F | 1,27 | 2,55 | 3,82 | 5,09 | 6,37 |
| Sh по (9) | 0,342 | 0,217 | 0,168 | 0,140 | 0,122 |
| Sh по [7] | 0,26 | 0,28 | 0,17 | 0,15 | 0,12 |

Таблица 2

| q | 1 | 0,82 | 0,71 | 0,58 | 0,45 | $q^* = 0,307$ |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| G_3 , кг/ч | 41070 | 38390 | 35710 | 32140 | 28570 | 24106 |
| v_3 , м/с | 23,8 | 22,2 | 20,7 | 18,6 | 16,5 | 14,0 |
| f_0 , с ⁻¹ | 0,244 | 0,240 | 0,232 | 0,222 | 0,214 | 0,207 |
| T_0 , с | 4,1 | 4,2 | 4,3 | 4,5 | 4,7 | 4,8 |
| Sh | 0,041 | 0,043 | 0,045 | 0,048 | 0,052 | 0,059 |



Тепломаш®

юбилей завода **20 лет**

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ, ВОДЯНЫЕ И ГАЗОВЫЕ ВОЗДУШНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ЗАВЕСЫ «ТЕПЛОМАШ»

для дверных и воротных проемов,
высотой от 2 до 12 метров



**ДЛЯ АВТОМОЕК
ЗАВЕСЫ (IP54)**

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕПЛОВЕНТИЛЯТОРЫ

офисные и промышленные
мощностью от 2 до 100 кВт



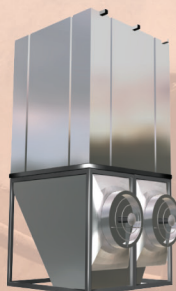
ВОДЯНЫЕ ТЕПЛОВЕНТИЛЯТОРЫ

теплопроизводительностью
до 100 кВт и **ФАНКОЙЛЫ**
холодопроизводительностью
до 28 кВт, для торговых, складских и
производственных помещений



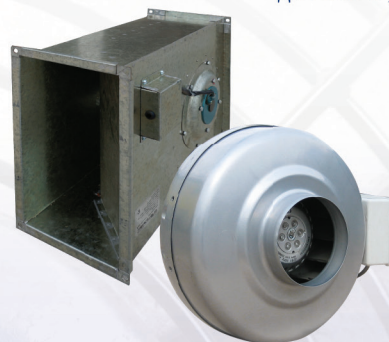
КОМПАКТНЫЕ ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ ГРАДИРНИ

номинальный расход
воды до 350м³/час



КАНАЛЬНЫЕ ПРЯМОТОЧНЫЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ ВЕНТИЛЯТОРЫ

до 7000 м³/ч.



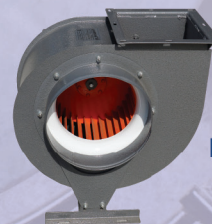
Энергоэффективные ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНЫЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

для загородных домов
**ZENNDER
COMFOAIR**



ВЕНТИЛЯТОРЫ ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ

низкого и среднего
давления
общепромышленные
и дымоудаления





Для оценки движений в реальном проеме в табл. 2 приведен пример расчета частоты по (8) и числа Струхала по (9) для ворот размером 4*4 м, $F = 40$, разность давлений на проеме 7 Па, угол струи $\alpha = 30^\circ$. Параметр q рассчитан по [2].

Как видно, расчетный период колебаний струй в проеме при заданных условиях составляет от 4 до 5 секунд. Если характерное время формирования струи допустимо оценить отношением $V/v_s = 4/20 = 0,2$ сек, то его малость в сравнении с рассчитанным периодом 4 сек подтверждает сделанное выше предположение.

Из табл. 2 следует, что период колебаний T_0 имеет конечную величину и при $q = q^*$. Скорее всего автоколебания возникают не при $q = q^*$, а при некотором значении $q = \langle q \rangle > q^*$. Однако этот вопрос не решается в рамках созданной колебательной модели и требует дополнительного исследования.

Для проверки зависимостей (8) и (9) было проведено натурное испытание двусторонней боковой завесы на воротах $H*B = 3,5*4$ м при условиях: температура на улице 0°C , в помещении 15°C , скорость ветра 3 м/с. Завеса состояла из двух модулей КЭВ-98П412W и двух модулей КЭВ-44П413W. Сопла завес имели размеры $L_s * b_s = 0,792*0,075$ м (всего 6 сопел на 4 модуля, по 3 сопла на сторону).

Поскольку зависимости (8) и (9) выведены в предположении, что длина сопла равна высоте проема, а суммарная длина сопел испытываемой завесы с одной стороны ворот составляла $0,792*3 = 2,38$ м $< 3,5$ м, то в расчет собственной частоты и числа Струхала была принята условная ширина сопла $b_c = 0,075*2,38/3,5 = 0,051$ м. При этом сохранялась скорость истечения струи из сопла $v_s = 12$ м/с и параметр $F = 3,5*4/(3,5*2*0,051) = 39,2$.

Расчет параметра q по [2] для $b_c = 0,051$ м и угла струи $\alpha = 30^\circ$ дал $q = 0,78$. Отсюда $f_0 = 0,139$ с⁻¹, $T_0 = 7,2$ с, $Sh = 0,0463$.

Период колебаний струйной структуры определялся расшифровкой видеосъемок, визуализирующих течение паровых струек, истекающих из горизонтально установленной в плоскости проема трубы. Пар подавался с одного конца трубы. Вдоль трубы было насверлено 10 отверстий диаметром 8 мм с шагом 200 мм. Максимальная мощность парогенератора составляла 12 кг пара в час, струи пара были направлены от ворот внутрь помещения.

На рис. 3 показано несколько характерных моментов течения в проеме. Следует отметить, что неподвижные картинки на фотографиях не дают представления о фактическом движении воздушных масс. Только наблюдение, анализ и расшифровка видеозаписей при всей субъективности этого процесса позволяют выявить объективную информацию. Сложность расшифровки видеозаписей состояла в том, что наряду с крупномасштабными движениями струйной воздушной структуры имели место и мелкомасштабная турбулентность и нерегулярные движения промежуточных масштабов. Всего было снято и расшифровано 6 видеозаписей продолжительностью от 30 до 129 секунд.

Период колебаний паровых струек наименьшего масштаба оценивался количеством кадров, на которых зафиксированы отклонение и возврат струйки в исходное положение. При частоте видеосъемки фотоаппаратом Olympus FG-210 15 кадров в секунду средний период колебаний оказался равным 1,4 сек. Оценка по замедленным трекам (скорость воспроизведения записей уменьшена в 2 раза) методом периодического движения руки оператора в ритм с событиями мелкомасштабного характера дали по всем трекам период 1,3 сек.

Наиболее крупномасштабные движения выражались в коррелированном сдвиге всех или большей части струек. Фиксация коррелированного сдвига (сноса, размывания, разворота) струек пара носила достаточно субъективный характер. Поэтому потребовались многократный просмотр и обработка видеофрагментов как на реальной скорости, так и на уменьшенной вдвое.

Было выявлено два характерных периода: 3,7 сек и 6,5 сек. Если предположить, что первая величина относится к полупериоду колебаний, а вторая к периоду, то обе можно считать хорошим подтверждением расчетного периода 7,2 сек.

Выводы:

1. Использование понятия «динамическая квазиупругость струи» позволяет создавать упрощенные математические модели колебаний несвободных струй и определять частоту собственных колебаний.

2. Экспериментальные исследования автоколебаний встречных струй (в том числе и при математическом моделировании) удовлетворитель-

но подтвердили найденные в работе расчетные значения частоты собственных колебаний.

3. Наличие автоколебаний при взаимодействии встречных струй двусторонней боковой завесы приводит к интенсивному перемешиванию оттекающих от проема воздушных масс с внутренним воздухом помещения и понижению температуры потока внутренней эжекции до температуры оттекающей смеси, что и принято в [1, 2].

4. По этой же причине при достаточно длительном времени пребывания ворот в открытом состоянии начнет понижаться и температура всасываемого завесами воздуха от внутренней до температуры смеси. Это повлечет снижение температуры воздуха, истекающего из завесы. Таким образом, при работе современных двусторонних компактных завес формируется положительная обратная связь, приводящая к ухудшению параметров защиты проема.

Литература

1. В. М. Эльтерман. Воздушные завесы. Изд. 2-е. М.: Машиностроение. 1966.
2. Ю. Н. Марр. Тепловые схемы воздушных завес//Инженерные системы. АВОК-Северо-Запад. Сентябрь. 2010.
3. В. А. Денщикова, В. Н. Кондратьев, А. Н. Ромашов. О взаимодействии двух встречных струй//Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. № 6. 1978. С. 165–167.
4. Е. А. Смирных. Промышленная аэродинамика. Вып. 4(36). 1991. С. 133–145.
5. В. А. Тюменцев. Исследование боковой односторонней воздушной завесы без подогрева воздуха. Автореферат дисс. ...к. т. н. Иркутск. 2004.
6. С. И. Бурцев, Д. М. Денисихина. Расчетное исследование течений, формирующихся при истечении воздуха из прямоугольных отверстий, перекрытых аркой//Сб. «Материалы Международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». Москва. 2005.
7. Л. Я. Баландина, С. И. Бурцев, Д. М. Денисихина, Ю. В. Мальгин, С. А. Терехова. Эффективное распределение воздуха с помощью «генератора комфорта»//Инженерные системы. АВОК-Северо-Запад. 2007. № 4(31). С. 68–71.
8. Ю. Н. Марр. Затухание плоских струй и защита проемов завесами//Инженерные системы. АВОК-Северо-Запад. 2011. № 3. С. 42–44.

