

**Ратушняк Г.С., Степанковский Р.В.**

**Снижение расхода энергии системами вентиляции путем совершенствования аэродинамических свойств фасонных частей**

**Введение**

Неотъемлемыми составными аэродинамической сети для разделения, слияния, направления, распределения, регулирования потока воздуха являются фасонные части: колена, тройник, диффузор, конфузор, решетка, дроссель-клапан [1], создающие местные сопротивления протеканию рабочей среды. Перестройка поля скоростей в местных сопротивлениях, образование вихрей и поддержания их вращения требует затраты энергии. В связи с этим течение воздуха через местные сопротивления сопровождается потерями давления, шумообразованием [1, 2].

Одним из основных недостатков при работе вентиляционной сети есть возникновение шума, создающим как самой вентиляционной установкой, так и при прохождении воздуха по воздуховодам и через фасонные части. Наличие высокого уровня шума ограничивает возможность применения вентилятора с заданными аэродинамическими параметрами или вынуждает прибегать к шумоглушающим приспособлениям, которые удорожают и усложняют систему вентиляции [2].

Снижение интенсивности вихреобразования в местных сопротивлениях, уменьшение коэффициентов местных сопротивлений и, соответственно, потерь давления в них есть актуальной задачей, решение которой позволит повысить энергоэффективность систем вентиляции.

**Основная часть**

При проектировании аэродинамических систем на промышленных предприятиях, вследствие насыщенности инженерной инфраструктуры (технологического оборудования, строительных конструкций, разного рода коммуникаций) возникает сложность использования прямолинейных участков на значительных дистанциях, что влечет к необходимости использования большого количества колен с малым радиусом изгиба.

Использование фасонных частей аэродинамической сети с угловатыми удобообтекаемыми выступами обуславливает негативную аэродинамику прохождения рабочей среды через фасонную часть, вихреобразования, увеличения коэффициента местного сопротивления. Сопротивление колена может быть уменьшено не только скруглением или срезом кромок поворота, но и установлением направляющих лопаток. В первом случае увеличиваются габариты конструктивной части, во втором – сохраняется компактность [1].

Аэродинамическая решетка в колене, составленная из направляющих лопаток, вследствие развивающейся на ней аэродинамической силы вызывает отклонение потока к внутренней стенке. При правильном выборе размеров, числа и угла размещения лопаток это отклонение потока предотвращает отрыв струи от стенок и образование вихревой области. При этом улучшается распределение скоростей по сечению за поворотом и уменьшается сопротивление колена [1] (рис.1).

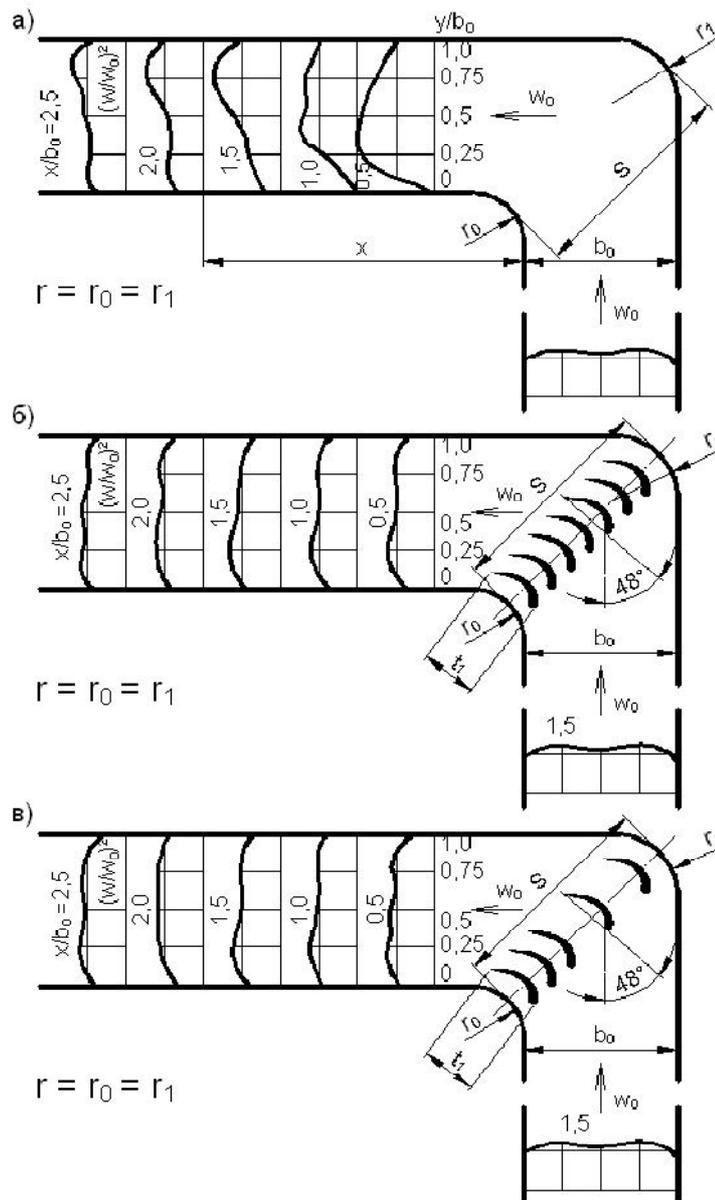


Рис.1. Схема распределения безразмерных скоростей (скоростных давлений) в колене:

- а) без лопаток; б) с установлением оптимального числа лопаток; в) с установлением уменьшенного числа лопаток

Для равномерного распределения скоростей непосредственно после поворота количество лопаток в колене принимают оптимальным (рис.1, б) [1]

$$n_{\text{норм}} = 2,13\left(\frac{r}{b_0}\right)^{-1} - 1, \quad (1)$$

где  $r = r_0 = r_1$  - радиус изгиба колена, мм;  
 $b_0$  - размер колена, мм.

В большинстве практических случаев можно ограничиться сокращенным числом лопаток («наивыгоднейшим» или минимальным) (рис.1, в) [1]

$$n_{\text{наив}} \approx 1,4\left(\frac{r}{b_0}\right)^{-1}, \quad (2)$$

или

$$n_{\text{наив}} \approx 0,9 \left(\frac{r}{b_0}\right)^{-1}. \quad (3)$$

При этом в обычных коленах меньшее сопротивление и лучшее распределение скоростей достигается при выборе наивыгоднейшего количества лопаток (2).

Хорда  $t_1$  профилированной лопатки принимается как хорда дуги внутреннего закругления колена [1]

$$t_1 = r \sqrt{2}. \quad (4)$$

Установление направляющих лопаток целесообразно в том случае, когда относительный радиус закругления для колен с постоянным сечением  $r/b_0 \leq 0,4 \div 0,5$ . Для диффузорных колен, с расширительным входным сечением, предельное отношение  $r/b_0$  увеличивается примерно до 1,0, для конфузорных, с суженным выходным сечением, предельное отношение  $r/b_0$  уменьшается примерно до 0,2 [1].

Существенным снижением коэффициента местного сопротивления в тройниках симметричной формы на  $90^\circ$  является использование тройника симметричной формы с плавным поворотом на  $90^\circ$ , в виде «ласточкиного хвоста» [1].

Для исследования эффективности использования колен с направляющими лопатками и тройника симметричной формы с плавным поворотом на  $90^\circ$  проанализируем аэродинамический расчет приточной системы вентиляции П2 на тамбур-шлюзы [3,4,5] сахарного завода с использованием предложенных фасонных частей и фасонных частей стандартного исполнения (рис.2).

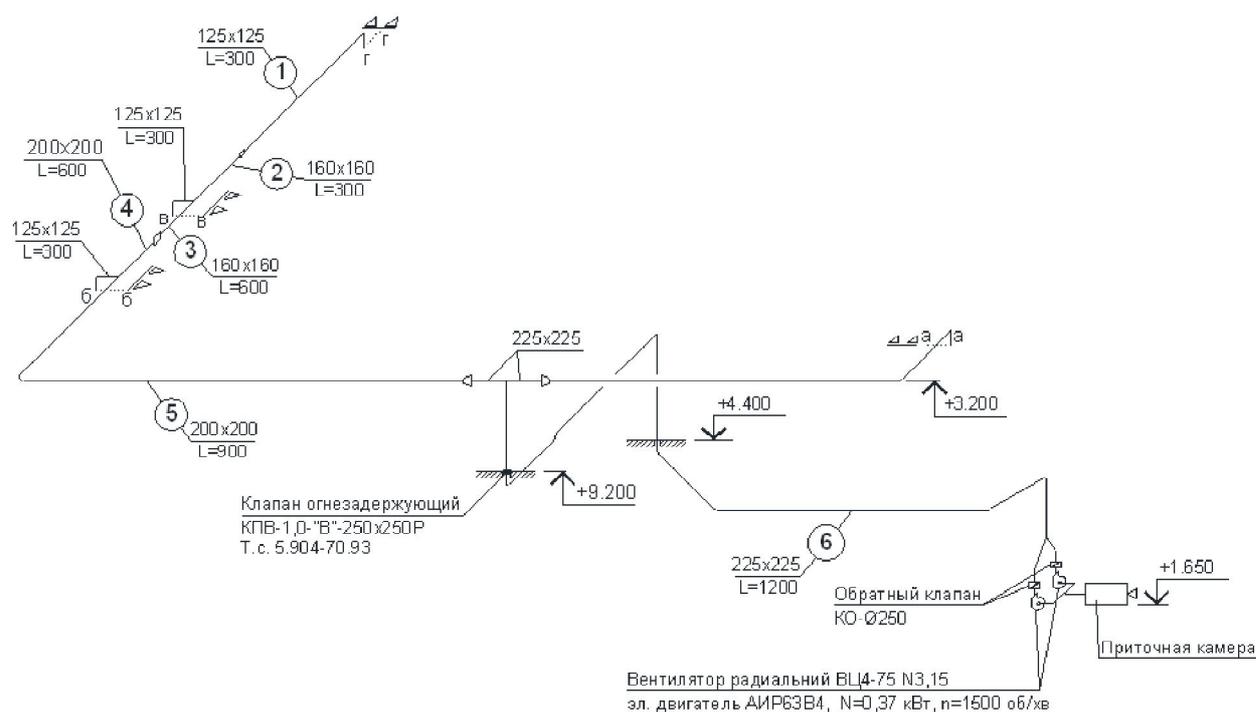


Рис.2. Схема аэродинамического расчета приточной системы вентиляции П2 на тамбур-шлюзы сахарного завода

Коэффициент местного сопротивления колена прямоугольного сечения с направляющими лопатками равен [1]

$$\xi = \frac{\Delta p}{\rho w_0^2} = k_{Re} \xi_M + \xi_{тр}, \quad (5)$$

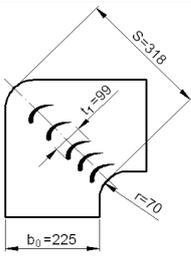
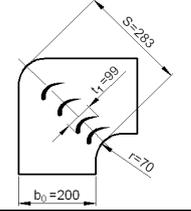
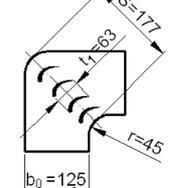
где  $\xi_m$  – коэффициент местного сопротивления:  $\xi_m = f(r/b_0)$ , согласно графику *a* [1];  
 $\xi_{тр}$  – коэффициент сопротивления трения участка длиной *l*:  $\xi_{тр} = (1 + 1,57r/b_0)\lambda$ , [1];  
 $\lambda$  – коэффициент сопротивления трения единицы относительной длины участка:  
 диаграмма 2-1 ÷ 2-6, [1];

$k_{Re}$  – поправочный коэффициент для числа Рейнольдса:  $k_{Re} = 0,8 + 4,02 \cdot 10^4/Re$ , [1].

Количество колен на главном расчетном участке (рис.2) составляет N=12шт., из которых N=9шт. колена 90°. Техническая характеристика колен 90° с направляющими лопатками разного сечения наведены в таблице 1.

Таблица 1

Техническая характеристика колен 90° с направляющими лопатками разного сечения

Эскиз колена 90°	Сечение, мм	Количество N, шт.	Радиус изгиба $r_0 = r_1 = r$ , мм	Длина профилированной лопатки $t_1$ , мм	Коэффициент местного сопротивления, $\xi_1$ (без направляющих лопаток)	Коэффициент местного сопротивления, $\xi_2$ (с направляющими лопатками)
	225x225	6	70	99	0,38	0,22
	200x200	1	70	99	0,33	0,16
	125x125	2	45	63	0,32	0,2

Количество тройников симметричной формы на главном расчетном участке (рис.2) составляет N=1шт. Техническая характеристика тройника 90° симметричной формы стандартного исполнения и тройника 90° симметричной формы с плавным поворотом, в виде «ласточкиного хвоста» наведены в таблице 2 [1].

Таблица 2

Техническая характеристика тройника 90° симметричной формы стандартного исполнения и тройника 90° симметричной формы с плавным поворотом, в виде «ласточкиного хвоста»

Эскиз тройника	Коэффициент местного сопротивления
	$\xi_1 = 1,45$
	$\xi_1 = 0,25$

Аэродинамический расчет приточной системы вентиляции на тамбур-шлюзы сахарного завода с использованием предложенных фасонных частей и фасонных частей стандартного исполнения наведен в таблицах 3 и 4.

Таблица 3

Аэродинамический расчет приточной системы вентиляции П2 на тамбур-шлюзы сахарного завода с использованием колен без направляющих лопаток и тройника 90° симметричной формы стандартного исполнения

№ участка	Кол. воздуха		Длина L, м	Скорость V, м/сек	Размер прямоугольных воздуховодов		Потеря давления на трение, кгс/м2		Скоростное давление (v <sup>2</sup> ·γ)/2g, кгс/м2	Сума коэффициентов местных сопротивлений Сума E	Потеря давления на местные сопротивления Z, кгс/м2	Общие потери давления на участке RL+Z, кгс/м2	Суммарные потери давления на участке от начала сети Сума (RL+Z), кгс/м2
	м3/год	м3/с			F, м2	АхВ, мм	на 1 м R	на всем участке RL					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Приточная магистраль: 1-2-3-4-5-6</b>													
1	300	0,083	7,68	5,333333333	0,015625	125x125	0,526	4,03968	1,72	1,94	3,3368	7,37648	7,37648
2	300	0,083	2,495	3,25520833	0,0256	160x160	0,159	0,396705	0,648	0,8	0,5184	0,915105	8,291585
3	600	0,167	1,78	6,51041667	0,0256	160x160	0,559	0,99502	2,58	0,1	0,258	1,25302	9,544605
4	600	0,167	1,99	4,16666667	0,04	200x200	0,184	0,36616	1,08	0,6	0,648	1,01416	10,558765
5	900	0,25	23,4	6,25	0,04	200x200	0,394	9,2196	2,39	1,88	4,4932	13,7128	24,271565
6	1200	0,333	35,93	6,58436214	0,050625	225x225	0,374	13,43782	2,64	6,23	16,4472	29,88502	54,166585
											Фильтр ячейковый		5
											Калорифер		4,8
											<b>Общие потери давления</b>		<b>63,956585</b> (640 Па)

Таблица 4

Аэродинамический расчет приточной системы вентиляции П2 на тамбур-шлюзы сахарного завода с использованием колен с направляющими лопатками и тройника 90° симметричной формы с плавным поворотом, в виде «ласточкиного хвоста»

№ участка	Кол. воздуха		Длина L, м	Скорость V, м/сек	Размер прямоугольных воздуховодов		Потеря давления на трение, кгс/м2		Скоростное давление (v <sup>2</sup> ·γ)/2g, кгс/м2	Сумма коэффициентов местных сопротивлений Сумма E	Потеря давления на местные сопротивления Z, кгс/м2	Общие потери давления на участке RL+Z, кгс/м2	Суммарные потери давления на участке от начала сети Сумма (RL+Z), кгс/м2
	м3/год	м3/с			F, м2	АхВ, мм	на 1 м R	на всем участке RL					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Приточная магистраль: 1-2-3-4-5-6</b>													
1	300	0.083	7.68	5.333333333	0.015625	125x125	0.526	4.03968	1.72	1.7	2.924	6.96368	6.96368
2	300	0.083	2.495	3.255208333	0.0256	160x160	0.159	0.396705	0.648	0.8	0.5184	0.915105	7.878785
3	600	0.167	1.78	6.51041667	0.0256	160x160	0.559	0.99502	2.58	0.1	0.258	1.25302	9.131805
4	600	0.167	1.99	4.16666667	0.04	200x200	0.184	0.36616	1.08	0.6	0.648	1.01416	10.145965
5	900	0.25	23.4	6.25	0.04	200x200	0.394	9.2196	2.39	0.51	1.2189	10.4385	20.584465
6	1200	0.333	35.93	6.58436214	0.050625	225x225	0.374	13.43782	2.64	4.89	12.9096	26.34742	46.931885
												Фильтр ячейковы	5
												Капорифер	4,8
												<b>Общие потери давления</b>	<b>56,731885 (567 Па)</b>

Аэродинамические расчеты свидетельствуют, что общие потери давления с использованием колен без направляющих лопаток и тройника 90° симметричной формы стандартного исполнения составляет  $\Delta p_1 = 640$  Па. При этом общие потери давления с использованием колен с направляющими лопатками и тройника 90° симметричной формы с плавным поворотом составляет  $\Delta p_2 = 567$  Па, т.е.  $\Delta p_1 > \Delta p_2$ .

При небольшой протяженности приточной (расчетной) магистрали  $L=34,5$ м использование в аэродинамической сети предложенных фасонных частей с меньшими коэффициентами местных сопротивлений снизили общие потери давления на  $\Delta p_1 - \Delta p_2 = 640 - 567 = 73$  Па. Это свидетельствует об уменьшении мощности вентиляционного агрегата и, соответственно, экономии энергоресурсов.

Пример аэродинамического расчета магистрали с небольшой протяженностью свидетельствует об эффективности использования колен с направляющими лопатками в сильноизогнутых аэродинамических сетях, которые часто проектируются на промышленных предприятиях.

## Заключение

1. Использование в аэродинамической сети фасонных частей, конструкция которых способствует улучшению аэродинамические свойства протекания рабочей среды через фасонную часть, уменьшению интенсивности вихреобразования приводит к уменьшению коэффициента местного сопротивления, снижению потерь давления, снижению энергопотребления.

2. Проектирование аэродинамических сетей с использованием колен с направляющими лопатками целесообразно использовать для сильноизогнутых систем, применяемых на промышленных предприятиях с крупногабаритным технологическим оборудованием, с насыщенностью строительных конструкций, разного рода коммуникаций.

## Литература

1. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О.Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. / И.Е. Идельчик – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
2. Вахвахов Г.Г. Энергосбережение и надежность вентиляторных установок / Г.Г.Вахвахов. – М.: Стройиздат, 1989. – 176 с.
3. Отопление, вентиляция и кондиционирование: СНиП 2.04.05-91\*У.
4. Ведомственные нормы технологического проектирования свеклосахарных заводов: ВНТП 03 – 91. – М.: Гипросахпром, 1991. – 357 с.
5. Донин Л.С. Справочник по вентиляции кондиционированию и теплоснабжению предприятий пищевой промышленности / Л.С. Донин. – М.: «Пищевая промышленность», 1968.