

Программа аэродинамического расчета. В качестве инструмента для аэродинамического расчета авторы рекомендуют программу «CompactVent», разработанную на кафедре «Отопления, вентиляции и охраны воздушного бассейна» (ОВиОВБ) Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Работа с указанной программой предполагает опыт аэродинамического расчета традиционными способами.

Используются следующие расчетные формулы для определения аэродинамических характеристик.

Диаметр воздуховода:

$$d = \sqrt{\frac{4L}{3600V_{\text{усл}}\pi}} \quad , \text{ м} \quad (1)$$

где: L – расход воздуха на участке, м³/час;

$V_{\text{усл}}$ – скорость воздуха на участке воздуховода, м/с.

Потери давления на участке:

$$\Delta P = RI + Z \quad , \text{ Па} \quad (2)$$

где: I – длина участка в м;

Z – потери давления в местных сопротивлениях, Па;

R – потери давления на трение по длине воздуховода, Па/м.

По формуле:

$$R = \frac{\lambda \rho V_{\text{усл}}^2}{d} = \frac{\lambda}{d} N_d \quad (3)$$

где: N_d - динамические потери давления на участке, Па;

λ - коэффициент сопротивления трения;

ρ - плотность воздуха перемещаемого по воздуховоду кг/м³.

Коэффициент сопротивления трения рассчитывается по формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left[\frac{K_s}{d} + \frac{68}{Re} \right]^{0,25} \quad (4)$$

где: Re – число Рейнольдса;

K_s – абсолютная эквивалентная шероховатость

поверхности воздуховода, мм.

Потери давления в местных сопротивлениях определяются:

$$Z = \mathbf{H}_D (\xi_{\text{тр}} + \xi) \text{ , Па} \quad (5)$$

где: ξ - сумма коэффициентов местных сопротивлений (КМС) элементов сети воздухопроводов на расчетном участке;

$\xi_{\text{тр}}$ – КМС тройника.

Коэффициенты местных сопротивлений тройников:

- для приточной системы:

на проход:

$$\xi_{\text{тр}}^{\text{п}} = 0,5 \left\{ 0,1 \left(\frac{D_{\text{п}}}{D_{\text{с}}} \right)^4 \left[4 + \frac{L_0}{L_{\text{п}}} \left(9 \frac{L_0}{L_{\text{п}}} - 5 \right) \right] + 1 - \left(\frac{D_{\text{п}}}{D_{\text{с}}} \right)^2 \right\} \text{ ,} \quad (6)$$

на ответвление:

$$\xi_{\text{тр}}^{\text{о}} = \frac{D_{\text{о}}^2 L_{\text{с}}}{D_{\text{с}}^2 L_{\text{о}}} \left(\frac{D_{\text{о}}^2 L_{\text{с}}}{D_{\text{с}}^2 L_{\text{о}}} - 1,25 \right) + 1 - 0,08 \frac{D_{\text{с}}^2 L_{\text{о}}}{D_{\text{о}}^2 L_{\text{с}}} \text{ ,} \quad (7)$$

где: $D_{\text{п}}$, $D_{\text{с}}$ и $D_{\text{о}}$ – диаметры прохода, ствола и ответвления, м;

$L_{\text{п}}$, $L_{\text{о}}$, $L_{\text{с}}$ – соответственно расход воздуха на проходе,

в ответвлении и стволе, м³/час.

- для вытяжной системы:

на проход:

$$\xi_{\text{п}} = \left[\left(1 - \bar{f}_{\text{п}}^2 \right) + 0,5 \bar{L}_{\text{о}} + 0,05 \right] \left[1,5 + \left(\frac{1}{2 \bar{f}_{\text{о}}} - 1 \right) \bar{L}_{\text{о}} - \{ (\bar{f}_{\text{п}} + \bar{f}_{\text{о}}) \bar{L}_{\text{о}} \}^{0,5} \right] \left(\frac{\bar{f}_{\text{п}}}{1 - \bar{L}_{\text{о}}} \right)^2 \text{ ,} \quad (8)$$

на ответвление:

$$\xi_{\text{о}} = \left[2,9 \bar{V}_{\text{о}} - 2,1 \bar{V}_{\text{о}}^2 + \bar{V}_{\text{о}}^3 + 1,5 \right] \left(\frac{1}{\bar{V}_{\text{о}}^2} \right)^2 \text{ ,} \quad (9)$$

где: $\bar{f}_{\text{п}} = f_{\text{п}} / f_{\text{с}}$ - относительное сечение воздухопроводов на проходе;

$\bar{f}_{\text{о}} = f_{\text{о}} / f_{\text{с}}$ - относительное сечение воздухопроводов на ответвлении;

$\bar{V}_{\text{о}} = V_{\text{о}} / V_{\text{с}}$ - относительная скорость воздуха на ответвлении;

$$\bar{L}_0 = L_0 / L_c \quad - \text{ относительный расход воздуха на ответвлении};$$

f_n, f_0 и f_c – соответственно сечение воздуховода на проходе, ответвлении и стволе;

V_0, V_c – скорость воздуха на ответвлении и в стволе;

При подборе систем вентиляции и кондиционирования воздуха необходимо произвести аэродинамический расчет вентиляционных сетей. Рассмотрим последовательность аэродинамического расчета согласно схемы, представленной на рис. 1.

По умолчанию программой предполагается расчет приточной системы вентиляции. После ввода количества участков в магистрали и общего количества участков в сети активизируется кнопка в верхней части формы **ВИД РАСЧЁТА :** (см. рис.2) . Нажатие данной кнопки вызывает ниспадающее меню, в котором при первом обращении к нему активизирована одна из двух надписей **Аэродинамический расчёт магистрали** . Нажатие этой надписи позволяет продолжить расчет магистрального пути сети. После этого необходимо нажать кнопку **OK**

На панелях формы более темным тоном представлены не активизированные панели, ввод данных через которые заблокирован. Светлый фон одной или нескольких панелей формы говорит о том, что данная панель активизирована и через неё имеется возможность ввода данных для расчета.

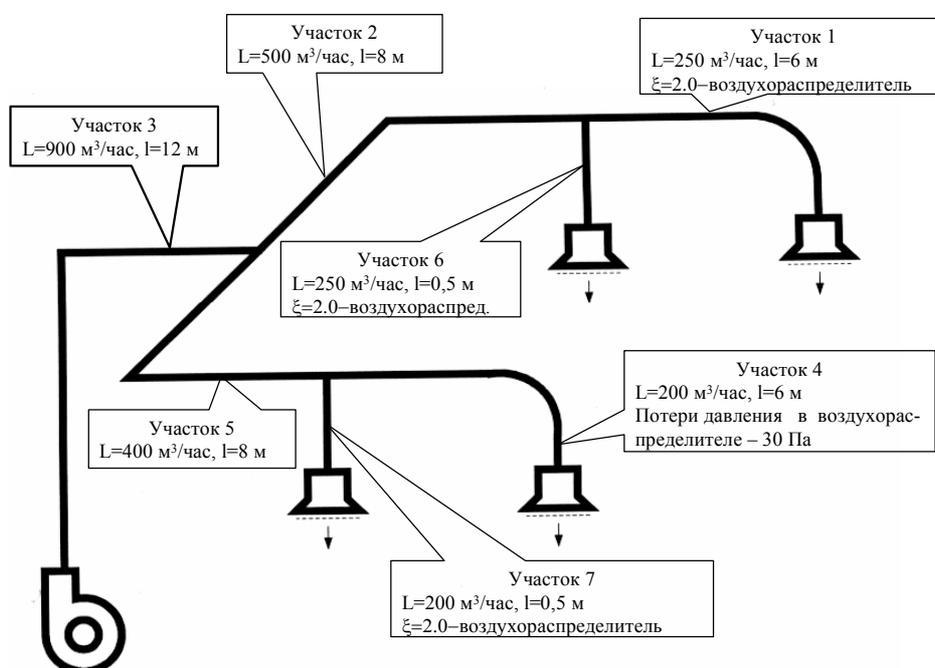


Рис. 1 Аксонометрическая схема.

Форма работы с программой представлена на рис. 2

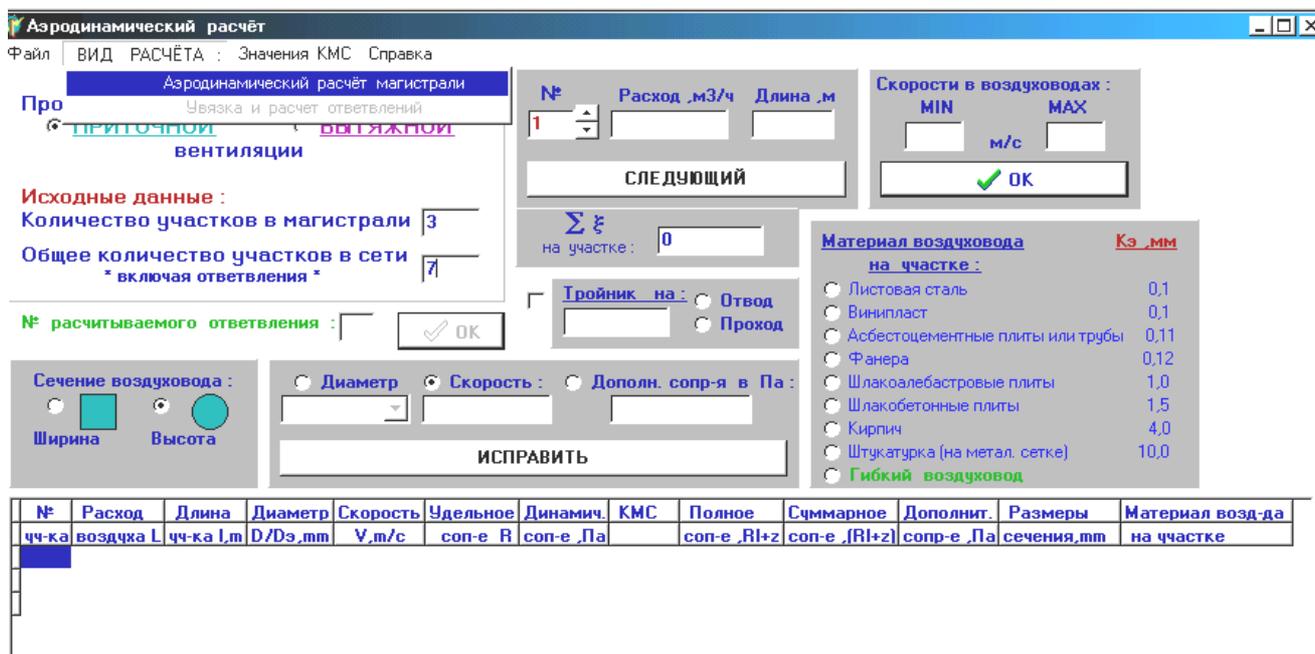


Рис. 2. Начальная форма работы с программой.

После этого курсор переходит в окно предназначенное для ввода в базу данных, значений расходов воздуха на расчетных участках в м³/час и их длин в м. (рис.3).

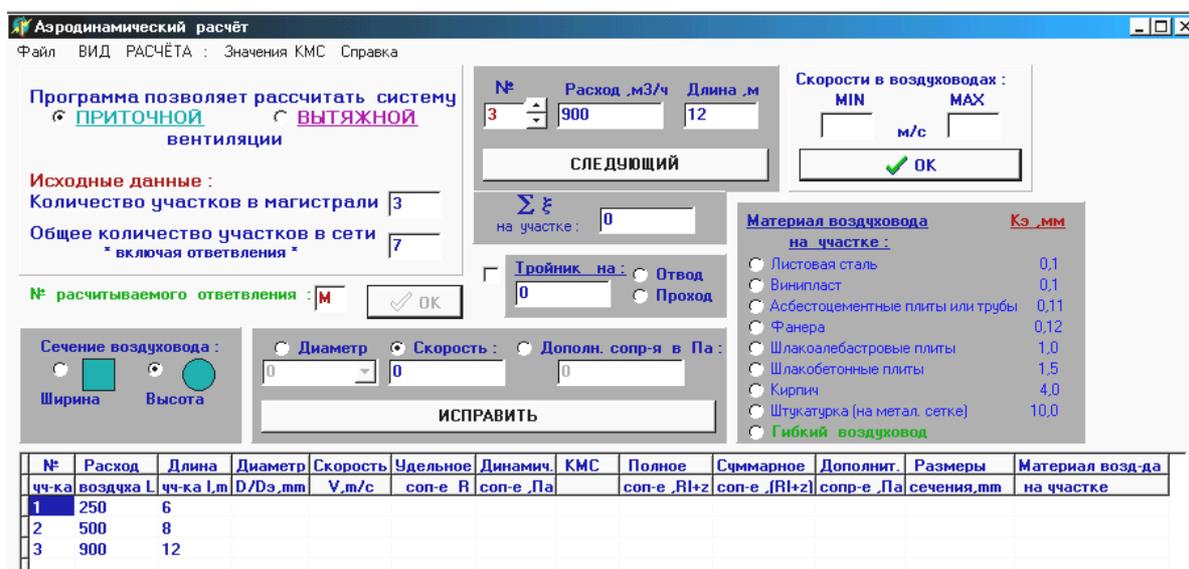
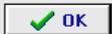


Рис. 3 Ввод исходных данных.

Нажатие клавиши **следующий** приводит к вводу расчетных значений в базу данных с одновременным перебросом их в таблицу, располагающуюся в нижней части формы. Следует отметить, что имеется возможность корректировки расхода воздуха и длины участка, если не

завершен ввод данных последнего участка магистрали или ответвления. Для этого линейкой прокрутки устанавливается номер участка, где производится корректировка. После ввода длины и расхода воздуха на последнем участке магистрали (в последующем ответвлении) курсор перебрасывается на панель для ввода диапазона скоростей воздуха в магистрали.

Введя в них значения диапазона скоростей движения воздуха в магистрали и нажав кнопку

 , переходим к вводу значений коэффициентов местных сопротивлений (КМС) (рис.4).

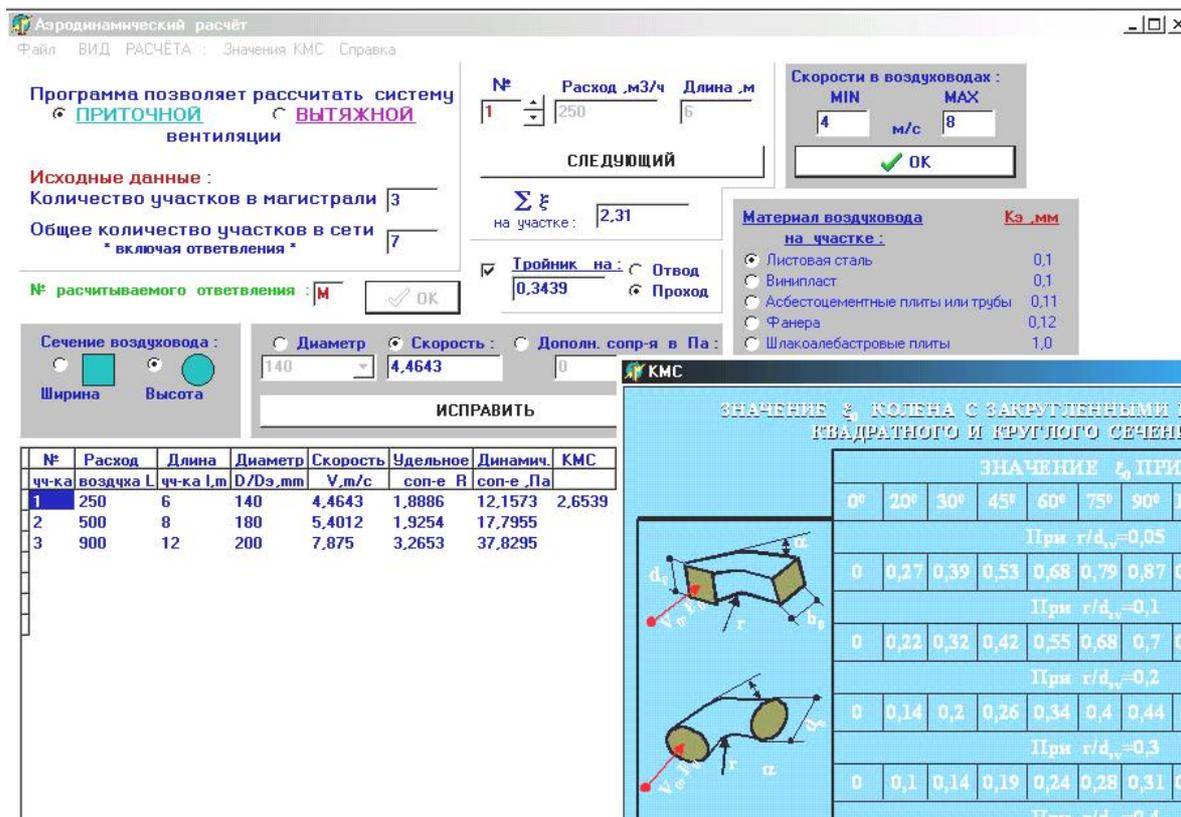
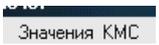
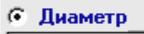
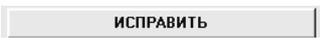


Рис. 4. Определение значений КМС на первом участке

Имеются две панели для ввода и определения КМС. Первоначально активизирована панель для ввода $\Sigma \xi$ на участке (данные величины определяются по таблицам справочной литературы или после нажатия кнопки ). Ниже находится панель для определения КМС тройника по формулам (6 - 9). Для активизации данной панели необходимо установить «птичку» в прямоугольнике, находящейся левее панели. При определении вида тройника (тройник на проход или на ответвление) необходимо установить точку в зависимости от вида ответвления. Например, на первом участке (см. рис. 1) имеется тройник на проход. Кроме этого имеется отвод 90^0 и воздухораспределитель. Для воздухораспределителя значение $\xi_{\text{возд}} = 2.0$ согласно схемы на рис. 1. Определение $\xi_{\text{отвода}}$ выполним, воспользовавшись

кнопкой  . Принимаем $\xi_{\text{отвода}} = 0.31$ при отношении $r/d_{\text{в}} = 0.3$ и $\alpha = 90^\circ$. Сумма КМС воздухоораспределителя и отвода 90° составляет $0.31 + 2 = 2.31$. Обозначив вид тройника, и введя значение 2.31, нажимаем на клавишу  . Если линейкой прокрутки вернуть значение 1 участка, то форма расчета примет вид рис.5. В окнах панели для определения КМС участка приведено значение КМС тройника на проход = 0.3439, а во втором окне 2.31. В расчетной таблице в графе КМС приведено численное значение суммы КМС на первом участке = 2.6539. Аналогичным образом вводятся оставшиеся значения КМС всех участков магистрали.

После ввода значений КМС магистрали можно произвести корректировку. К примеру, необходимо изменить диаметр воздуховода на втором участке с 180 мм на 160 мм. Для этого в верхней части формы стрелками прокрутки устанавливается, соответствующий номер участка в первом окне. В отверстие рядом со словом  устанавливается точка, нажимается верхняя стрелка прокрутки, выбирается стандартный диаметр 160 мм (см. рис.14). Нажатие кнопки  ведет к изменению диаметра воздуховода на участке, перерасчету потерь давления на втором участке магистрали с исправлением значений КМС на участке и суммарных потерь давления в сети. Для этого необходимо стрелкой прокрутки перейти, например, на участок 1 нажать кнопку  , вновь вернуться при помощи прокрутки на участок 1 и нажать кнопку  .

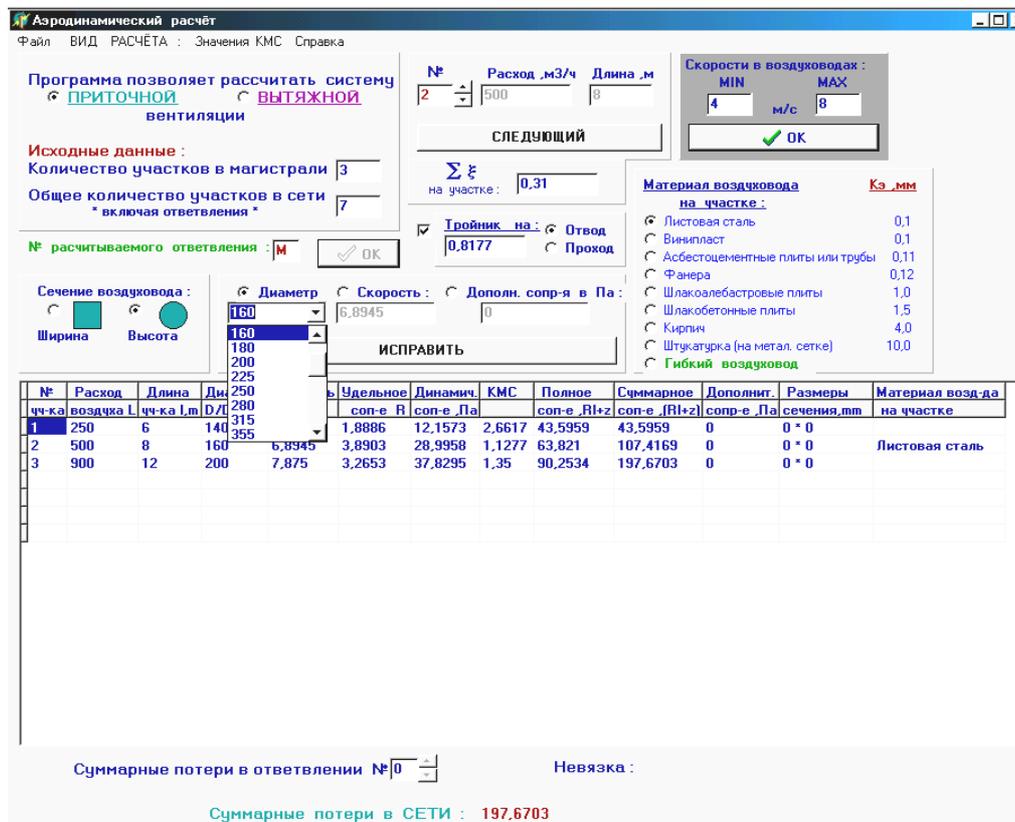
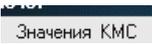
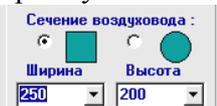
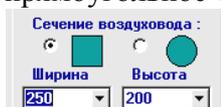


Рис. 5 Корректировка диаметра воздуховода на втором участке

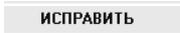
Как видно из рис.15, расчет магистрального пути выполнен. Появилась возможность:

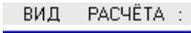
- учесть на расчетных участках КМС переходов с одного диаметра на другой (это можно было сделать и раньше);
- для наглядности возможностей программы сменить сечение третьего участка с круглого на прямоугольное, а вид материала воздуховода на этом же участке принять, как штукатурка на металлической сетке (по умолчанию аэродинамический расчет первоначально для всех участков ведется для воздухопроводов из листовой стали).

Для этого при помощи кнопки  выбираем позицию конфузур в сети и, приняв соотношение $l/d > 0.6$, получаем значение $\xi_{\text{конф}}=0,1$. Последовательно корректируем значения суммы КМС на первом и втором участках, где имеются переходы. Для изменения круглого сечения на прямоугольное сечение на третьем участке на панели устанавливаем точку рядом с квадратом . В появившемся окне выбираем стандартную ширину



воздуховода 250 мм и если значение высоты нестандартно (у нас в примере – 200 мм) просто набираем нужное значение в окне высота.

На панели [«Материал воздуховода на участке»](#) устанавливаем точку против надписи [«Штукатурка на металлической сетке»](#) и нажатием кнопки  завершаем корректировку аэродинамического расчета магистрали (см. рис.6).

Просчитав магистраль можно переходить к расчету первого ответвления. Для этого, нажав надпись  выбираем из ниспадающего списка пункт [«увязка и расчет ответвлений»](#). Произведя аналогичные манипуляции по фиксации количества участков в ответвлении, номера начального участка в ответвлении, номера участка магистрали/ответвления следующего за ответвлением, длины и расходы воздуха на участках в ответвлении, вид тройников и пр. получаем результаты расчета для ответвления. Возможны случаи, когда значение КМС воздухораспределителя неизвестно, но известны потери давления в нем в Па. На четвертом участке сети потери давления в воздухораспределителе составляют 30 Па. В этом случае, сумма КМС перехода и отвода = $0.1+0.31 = 0.41$. КМС тройника на проход 0.3439. Сумма КМС на участке $0.41+0.3439=0.7539$. Ввод потерь давления в воздухораспределителе в размере 30 Па производится следующим образом.

Аэродинамический расчёт

Файл ВИД РАСЧЁТА : Значения КМС Справка

Программа позволяет рассчитать систему вентиляции

Исходные данные :
 Количество участков в магистрали 3
 Общее количество участков в сети * включая ответвления * 7

№ расчитываемого ответвления : 3

№ Расход ,м3/ч Длина ,м
 3 900 12

Скорости в воздуховодах :
 MIN 4 м/с MAX 8

СЛЕДУЮЩИЙ

Σ ξ на участке : 1,35

Тройник на : Отвод Проход

Материал воздуховода на участке :
 Листовая сталь 0,1
 Винипласт 0,1
 Асбестоцементные плиты или трубы 0,11
 Фанера 0,12
 Шлакоалюбастровые плиты 1,0
 Шлакобетонные плиты 1,5
 Кирпич 4,0
 Штукатурка (на метал. сетке) 10,0
 Гибкий воздуховод

Сечение воздуховода :
 Диаметр Скорость : Дополн. сопр-я в Па :
 222,2222 6,4334 0

ИСПРАВИТЬ

Ширина Высота
 250 200

№ чч-ка	Расход воздчк	Диаметр D/Dэ, мм	Скорость V, м/с	Удельное соп-е R	Динамич. соп-е Па	КМС	Полное соп-е ,PI+z	Суммарное соп-е ,PI+z	Дополнит. соп-е ,Па	Размеры сечения, мм	Материал возд-да на ччастке
1	250	140	4,4643	1,8886	12,1573	2,7617	44,9064	44,9064	0	0 * 0	
2	500	160	6,8945	3,8903	28,9958	1,2277	66,7205	111,6269	0	0 * 0	Листовая сталь
3	900	222,2222	6,4334	5,6839	25,2471	1,35	102,2904	213,9173	0	250 * 200	Штукатурка

Суммарные потери в ответвлении № 3

Невязка :

Суммарные потери в СЕТИ : 213,9173

Рис. 6. Исправление сечения воздуховода и материала, из которого он изготовлен на третьем участке.

Устанавливается точка рядом с надписью «Дополнительные сопротивления, в Па» и в окне находящемся ниже вводится число и нажимается клавиша **Исправить**. Установив в нижней части формы линейками прокрутки номер ответвления, определим невязку, и диаметр необходимой диафрагмы для приведения невязки к нулю (см. рис. 7).

Отрицательное значение невязки показывает, что магистральный путь выбран правильно, т.е. он имеет максимальные потери давления. Величину невязки можно корректировать изменением диаметра воздуховода, доведя ее до приемлемых 10%.

Аэродинамический расчёт

Файл ВИД РАСЧЁТА : Значения КМС Справка

Исходные данные :
 Количество участков в магистрали : 3
 Общее количество участков в сети * включая ответвления * : 7
 Количество участков в данном ответвлении : 2
 Номер начального участка в ответвлении : 4
 Номер участка МАГИСТРАЛИ/ОТВЕТВЛЕНИЯ следующего за данным ответвлением : 3
 № рассчитываемого ответвления : 1

№ Расход ,м3/ч Длина ,м
 4 200 6
 СЛЕДУЮЩИЙ

Скорости в воздуховодах :
 MIN 4 м/с MAX 6,433
 OK

Σ ξ на участке : 0,41
 Тройник на : Отвод
 0,3439 Проход

Сечение воздуховода :
 Диаметр Скорость : Дополн. сопр-я в Па :
 140 3,5714 30
 ИСПРАВИТЬ

Материал воздуховода на участке : Кэ ,мм
 Листовая сталь 0,1
 Винипласт 0,1
 Асбестоцементные плиты или трубы 0,11
 Фанера 0,12
 Шлакоалюбастровые плиты 1,0
 Шлакобетонные плиты 1,5
 Кирпич 4,0
 Штукатурка (на метал. сетке) 10,0
 Гибкий воздуховод

№	Расход	Длина	Диаметр	Скорость	Удельное	Динамич	КМС	Полное	Сммарное	Дополнит.	Размеры	Материал возд-да
уч-ка	возд-ка	L	D/Dэ, мм	V, м/с	соп-е R	соп-е ,Па		соп-е ,R1+z	соп-е ,R1+z	соп-е ,Па	сечения, мм	на участке
1	250	6	140	4,4643	1,8886	12,1573	2,7617	44,9064	44,9064	0	0 * 0	
2	500	8	160	6,8945	3,8903	28,9958	1,2277	66,7205	111,6269	0	0 * 0	Листовая сталь
3	900	12	222,2222	6,4334	5,6839	25,2471	1,35	102,2904	213,9173	0	250 * 200	Штукатурка
Ветка №1												
4	200	6	140	3,5714	1,3775	7,7805	0,7539	44,1307	44,1307	30	0 * 0	Листовая сталь
5	400	8	180	4,321	1,4231	11,3893	1,6897	30,6293	74,76	0	0 * 0	

Суммарные потери в ответвлении №1 : 74,76 Невязка : -33,0269
 НЕВЯЗКА = 0 ПРИ УСТАНОВКЕ ДИАФРАГМЫ . ДИАМЕТРОМ : 130,5529 мм НА УЧАСТКЕ № 5
 Суммарные потери в СЕТИ : 213,9173

Рис. 7. Результаты расчета ответвления 1

В случае если невязка будет иметь положительное значение необходимо магистраль проводить через ответвление с большими потерями давления. В этом случае на экране появляется дополнительная форма с предложением пересчета магистрали (см. рис. 8)

ВНИМАНИЕ!

На этой ветке невязка положительна , т.е. магистральный путь выбран неправильно !

Будете пересчитывать магистраль ?

Yes No

Рис. 8 Сообщение о необходимости выбора нового магистрального пути.

Как видно из рис. 9 невязка отрицательная во всех ответвлениях.

Печать результатов расчета возможна при нажатии клавиши файл. Распечатка результатов стандартна (рис.10).

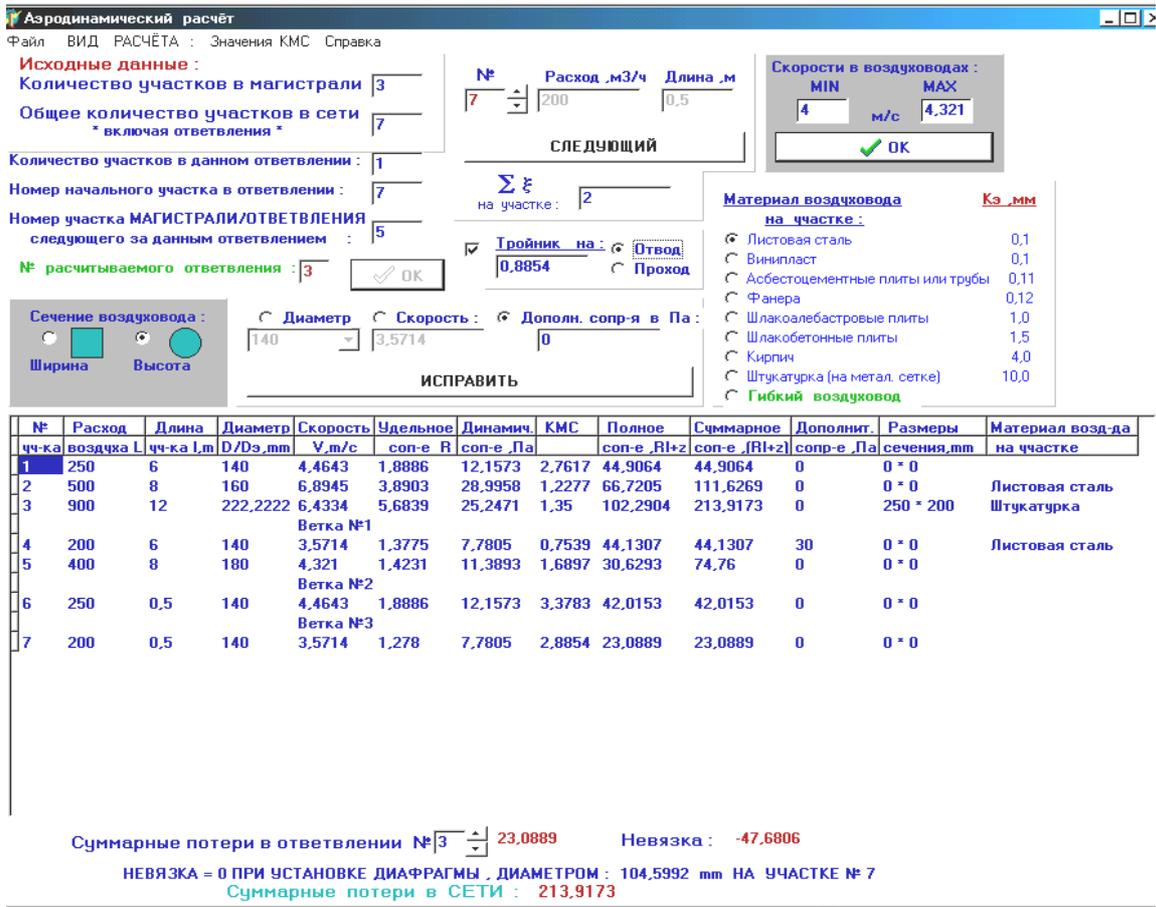


Рис. 9 Результат расчета сети.

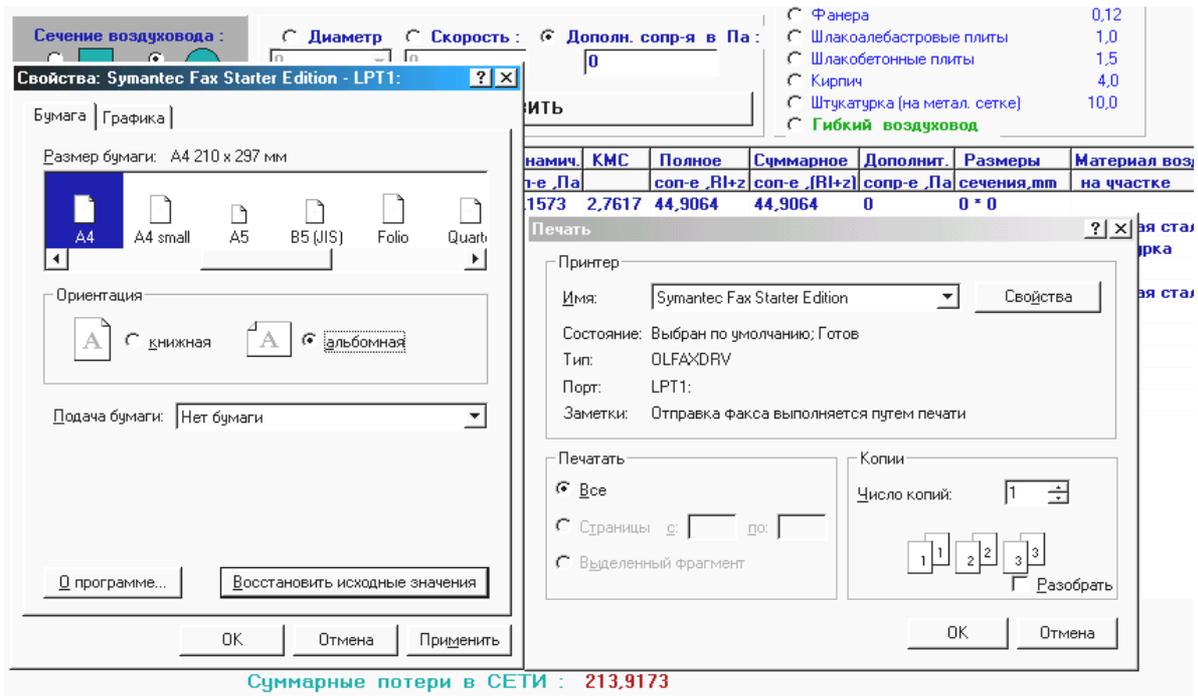


Рис. 10 Печать результатов расчета.

ВАЖНО!

Программа находится в стадии доработки. Авторы приглашают к тестированию всех желающих и будут признательны за высланные замечания при выявлении некорректности работы программы.

Формулы (8) и (9) не реализованы в данной версии. Вследствии этого при расчете вытяжной сети для определения КМС тройника следует пользоваться табличными данными приведенными в справочной литературе.

Для упрощения ознакомления с принципами работы с программой в примере приведенном в описании не учтены нюансы встречающиеся в реальном проектировании (к примеру определение КМС в месте присоединения воздуховода к вентагрегату и т.д.).

Значения КМС приведенные в программе в табличной форме взяты из Справочника проектировщика под редакцией Н.Н.Павлова и Ю.И. Шиллера (издание 90-х годов).

Для корректной работы программы графические файлы с табличными значениями КМС следует располагать в одной папке с основной программой.

Формулы (6-9) модификация известных зависимостей И.Е. Идельчика выполненная доцентом кафедры ОВиОВБ Рябовым А.В. в период увлечения программируемым калькулятором.

Иногда есть необходимость только в расчете магистрального пути. В этом случае для расчета необходимо ввести количество участков в магистрали - например 5 и повторить эту же цифру в окне для ввода общего количества участков в сети . включая ответвления - также 5.

При сохранении расчетных данных, сохраняемому файлу необходимо присвоить расширение txt. Например Проба.txt В противном случае при открытии ранее сохраннный файл с расчетными данными виден не будет.

Нормальное отображение нижней части формы, где располагается расчетная таблица - черная сетка граф и строк на белом фоне. Однако встречаются настройка дисплеев, при которых фон в этой части формы - черный. При этом черные цифры результата расчета сливаются с фоном. Наиболее простое решение данной проблемы - после нажатия левой клавиши мыши выделить всю табличную область формы и производить ввод данных.

С наилучшими пожеланиями!

Исаев Владимир