



Е.И. Тертичник

РАСЧЕТЫ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

Учебное пособие



СТРОИТЕЛЬСТВО

Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Е.И. Тертичник

РАСЧЕТЫ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

Учебное пособие

Москва 2016

УДК 697
ББК 38.762
Т35

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН
В.Г. Гагарин, главный научный сотрудник НИИСФ РААСН;
кандидат технических наук *А.Г. Рымаров*,
доцент кафедры отопления и вентиляции НИУ МГСУ

Тертичник, Евгений Иванович.

Т35 Расчеты вентиляционных систем : учебное пособие / Е.И. Тертичник ;
М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос.
строит. ун-т. Москва : Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2016. 88 с.
ISBN 978-5-7264-1429-4

Рассмотрены аэродинамический и акустический расчеты сетей воздухопроводов и вентиляционных каналов приточных и вытяжных вентиляционных систем гражданских и промышленных зданий, а также подбор фильтра и воздухоподогревателя для приточной камеры. Приводятся примеры указанных расчетов.

Для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство и профилю подготовки «Теплогазоснабжение, вентиляция, отопление, водоснабжение и водоотведение зданий, сооружений и населенных пунктов».

УДК 697
ББК 38.762

ISBN 978-5-7264-1429-4

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2016

Предисловие

В учебном пособии изложены основы методик аэродинамического расчета воздухопроводов и каналов, по которым транспортируется как обычный воздух, так и воздух, содержащий частицы твердого материала, удаляемого, например, от местных отсосов оборудования, выделяющего пыль. В практике проектирования применяют как «ручные» способы счета, разработанные много десятилетий тому назад, так и компьютерные.

Компьютерные способы расчета, в частности, при выполнении вентиляционных расчетов с помощью пакета математических программ Mathcad и Excel, более производительны и позволяют выполнять вычисления с большей точностью. Специалисту, имеющему хорошую компьютерную подготовку, несложно адаптировать составленные ранее алгоритмы к изменившимся условиям задачи.

В приведенных в учебном пособии возможных способах создания в табличном процессоре Excel частично «автоматизированной» таблицы аэродинамического расчета показано, что нумерация расчетных участков последовательностью натуральных чисел превращает одноименные составляющие аэродинамического расчета в упорядоченные линейные последовательности данных, а это позволяет применить в аэродинамическом расчете векторный способ выполнения вычислений. Преимуществом векторных вычислений является возможность однократным применением алгоритма вычислить потери давления всех составляющих вентиляционную сеть участков.

Методики расчета проиллюстрированы в работе примерами.

Автор

1. РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА И ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

Приточные и вытяжные системы должны обеспечивать расчетный воздухообмен и температуру в помещении в течение всего периода его эксплуатации. *Вентиляционные приточные камеры* выполняют лишь два вида обработки приточного воздуха:

- очистку от пыли (причем, не всегда);
- подогрев притока до необходимой температуры в холодный период (далее ХП) и переходный период (далее ПП) года.

Вытяжные камеры призваны очищать вентиляционные выбросы от пыли и иных вредных примесей, что более свойственно вентиляции производственных помещений.

Нормы характеризуют наружный воздух параметрами «А» и «Б» для холодного и теплого периодов года. Параметры «Б» рассчитаны для условий более низких температур, нежели параметры «А». На параметры «А» рассчитываются общеобменная вентиляция и установки воздушного душирования постоянных рабочих мест теплого периода года, на параметры «Б» для ХП и ПП — воздухоподогреватели приточных камер, установок воздушного душирования, общеобменный воздухообмен в помещении. Переходный период года (температура $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, энтальпия $+26,5\text{ кДж/кг}$) не имеет длительной продолжительности, в весенне-осенний период указанная температура может наблюдаться утром, к полудню она может быть превышена и может снизиться до $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже вечером. На условия ПП рассчитываются теплоизбытки, по которым вычисляется воздухообмен, принимаемый в качестве расчетного для ХП и ПП. Тем самым подтверждается общепринятое техническое решение проектирования вентиляции на два периода года: ХП + ПП и ТП. Температура воздуха рабочей зоны в ХП и ПП принимается одинаковой.

Температура наружного воздуха в значительной степени определяет и разность аэростатических давлений снаружи и внутри помещения для расчета вытяжных систем с естественной тягой, характерных для жилых домов и некоторых видов вспомогательных зданий промышленных предприятий. Нормами установлены следующие расчетные параметры наружного воздуха для вытяжных систем с естественной тягой:

- жилые, общественные и административно-бытовые здания: температура наружного воздуха $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура внутреннего воздуха — расчетная для данного помещения в холодный период года;

- отапливаемые производственные помещения: температура наружного воздуха (+10 °С) и внутреннего воздуха, расчетные для переходного периода года;
- естественная вытяжная вентиляция производственных помещений с теплоизбытками рассчитывается на параметры теплого периода года: наружный воздух — температура по параметрам «А», воздух помещения — расчетная температура воздуха в помещении для теплого периода года.

2. ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В ВОЗДУХОВОДАХ И КАНАЛАХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

2.1. Особенности аэродинамического расчета «ручным» способом

В учебном процессе и практике проектирования до настоящего времени широко применяется аэродинамический расчет сетей воздуховодов* и каналов** вентиляционных систем с использованием специальных таблиц для определения потери давления на единицу длины прямолинейного участка воздуховода или вентиляционного канала R с постоянными поперечным сечением, коэффициентом эквивалентной шероховатости стенки и скоростью воздуха. Расчет производится по методике, основанной на раздельном определении потерь давления на преодоление сил трения через удельную потерю давления на трение R , и потерь давления в местных сопротивлениях, вычисляемых через коэффициенты местного сопротивления (КМС) ζ . Общие потери в пределах расчетного участка равны

$$\Delta p = Rl + Z,$$

где l — длина рассчитываемого участка воздуховода, м.

* Воздуховод — труба круглого или прямоугольного сечения, изготовленная из тонколистового металла; обладает способностью гасить звуковые колебания на прямолинейных участках.

** Канал — труба прямоугольного, квадратного или круглого сечения (часто формируется в толще вентиляционной панели), имеет стенки из неметаллических материалов толщиной несколько сантиметров; у канала способность гасить звуковые колебания на прямых участках практически отсутствует.

Основу расчета потерь давления по длине на прямолинейном участке воздуховода с поперечным сечением произвольной формы составляет формула Вейсбаха:

$$\Delta p_{\text{тр}} = p_I - p_{II} = \psi \frac{\Pi}{4f} l \frac{v^2}{2} \rho, \quad (2.1)$$

где ψ — коэффициент трения;

Π — периметр внутренней части поперечного сечения, м;

f — площадь поперечного сечения воздуховода;

l — длина прямолинейного участка, м;

v — осредненная по площади поперечного сечения воздуховода скорость, м/с;

ρ — плотность воздуха, кг/м³.

Для круглых воздухопроводов отношение

$$\frac{\Pi}{4f} = \frac{4\pi d}{4\pi d^2} = \frac{1}{d}.$$

После подстановки в формулу (2.1) получим формулу Дарси:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \frac{l}{d} \frac{v^2}{2} \rho.$$

Для воздухопроводов прямоугольного и квадратного поперечного сечения в формулу вводится эквивалентный диаметр по скорости

$$d_v = \frac{2ab}{a+b}, \quad (2.2)$$

а уравнение Дарси приобретает вид

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \frac{l}{d_v} \frac{v^2}{2} \rho. \quad (2.3)$$

Удельную потерю на трение для круглого воздуховода получают несложным преобразованием формулы Дарси:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \frac{l}{d} \frac{v^2}{2} \rho = \left(\frac{\lambda_{\text{тр}}}{d} \frac{v^2}{2} \rho \right) l = Rl. \quad (2.4)$$

Выражением в скобках формулы (2.4), равным удельной потере на трение R , Па/м, пользуются для вычисления этой величины для круглых воздухопроводов при составлении расчетных таблиц.

Сеть воздуховодов состоит из участков с различными расходами, размерами и конфигурациями поперечных сечений, но потери давления можно вычислять в пределах отрезков сети, для которых формула (2.4) справедлива. Расчетный участок должен иметь неизменными на всей протяженности:

- эквивалентный коэффициент шероховатости стенки;
- конфигурацию и размеры поперечного сечения воздуховода или вентиляционного канала;
- осредненную по площади скорость воздушного потока.

Как следствие вышеизложенного, границами расчетных участков являются:

- тройники и крестовины, в которых изменяются расходы воздуха и размеры поперечных сечений воздуховодов и каналов;
- места сочленений вентиляционных каналов с различными поперечными сечениями и материалами стенки (например, сочленение наиболее удаленного от вытяжной шахты вертикального вентиляционного канала и сборного горизонтального короба вытяжной гравитационной системы);
- внезапные расширения и сужения.

Вентиляционные сети приходится разбивать на расчетные участки, которые принято нумеровать последовательностью натуральных чисел, что придает совокупностям одноименных параметров аэродинамического расчета упорядоченность и дает возможность применять векторные вычисления, что существенно сокращает объем работы по определению потерь давлений в участках.

При «ручном» счете удельная потеря на трение R определяется по таблицам, составленным для круглых стальных воздуховодов с абсолютной шероховатостью стенки 0,1 мм, температурой перемещаемого воздуха +20 °С и барометрическим давлением 98 кПа. Эти расчетные параметры в практике проектирования часто не соблюдаются, и в табличное значение удельной потери на трение приходится вводить поправки, что вносит усложнения в расчет. Приведенная ниже формула поправки универсальна, она позволяет вычислять поправку на табличное значение R при самых разных отклонениях от условий, для которых составлены таблицы:

$$\beta = \frac{R_{\text{факт}}}{R_{\text{табл}}} \frac{\rho_{\text{факт}}}{\rho_{\text{табл}}} = \left(\frac{K_{\text{экр.шерох}} + \frac{68\rho_{\text{факт}}}{v_{\text{факт}}\mu_{\text{факт}}}}{K_{\text{экр.шерох}} + \frac{68\rho_{\text{табл}}}{v_{\text{факт}}\mu_{\text{табл}}}} \right) \frac{\rho_{\text{факт}}}{\rho_{\text{табл}}}, \quad (2.5)$$

где индекс «факт» означает величину характеристики, вычисленную при фактических значениях температуры воздуха и эквивалентную шероховатости; индекс «табл» — вычисленную при температуре $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и эквивалентную шероховатости $0,1\text{ мм}$;

R — удельная потеря на трение, Па/м ;

$K_{\text{экв. шерох}}$ — эквивалентная шероховатость стенки воздуховода или вентиляционного канала, мм ;

μ — динамическая вязкость воздуха, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

v — скорость воздуха в воздуховоде или канале, м/с ;

ρ — плотность воздуха, кг/м^3 .

В практике вентиляционных расчетов принято:

- если температура перемещаемого по воздуховодам воздуха значительно отличается от расчетной для таблиц ($+20\text{ }^{\circ}\text{C}$), а эквивалентная шероховатость равна или незначительно отличается от табличного значения, вводить поправку на температуру, обычно представляемую в виде таблицы;

- при шероховатости стенок, отличающейся от табличных значений, равных $0,1\text{ мм}$, но с температурой перемещаемого по воздуховодам и вентиляционным каналам воздуха, равной или близкой $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, вводить только поправку на шероховатость, также часто представляемую в табличной форме;

- если отклонения от стандартных температуры ($+20\text{ }^{\circ}\text{C}$) и эквивалентной шероховатости ($0,1\text{ мм}$) значительны, что имеет место при подаче наружного воздуха к приточным камерам по неметаллическим каналам от приточных решеток в холодный и переходный периоды года, поправку приходится вычислять по формуле (2.5).

Вентиляционные каналы часто выполняют с прямоугольной и квадратной формой поперечного сечения. Если канал прямоугольный или квадратный, удельная потеря на трение определяется с помощью эквивалентного диаметра по скорости d_v — см. формулу (2.5).

Существующее правило определения удельной потери на трение прямоугольных и квадратных воздухопроводов по расчетным таблицам гласит: *удельная потеря на трение R прямоугольного и квадратного стального воздуховода равна удельной потере круглого воздуховода с диаметром, равным эквивалентному диаметру прямоугольного воздуховода при скорости, равной фактической скорости воздуха в прямоугольном воздуховоде.*

Аэродинамический расчет «ручным» способом принято выполнять в виде таблицы аэродинамического расчета, а вычисления проводить по участкам, на которые разбивается сеть воздухопроводов. Примерная форма таблицы аэродинамического расчета представлена ниже.

№ участка	Расход воздуха на участке L , м ³ /ч	Длина участка l , м	Коэффициент шероховатости стенки участка $K_{\text{эв.шер}}$	Диаметр участка d , мм	Размеры поперечного сечения участка, мм		Эквивалентный диаметр участка d_v , мм
					А	Б	
1	2	3	4	5	6	7	8

Скорость в участке v , м/с	Динамическое давление P_d , Па	Поправочный коэффициент β	Удельная потеря на трение R , Па/м	Потери давления в участке $\beta R l$, Па	Сумма коэффициентов местного сопротивления в участке $\Sigma \zeta$	Потери давления в местных сопротивлениях участка Z , Па	Полные потери давления в участке $\beta R l + Z$, Па
9	10	11	12	13	14	15	16

2.2. Особенности аэродинамического расчета с применением вычислительной системы Mathcad и Excel

Трудоемкость вычислений удельной потери на трение можно существенно уменьшить, воспользовавшись несложным алгоритмом определения R , что позволяет отказаться от использования поправок. Алгоритм вычисления удельной потери на трение R составлен в среде Mathcad, но он может быть также реализован табличным процессором Excel.

Ниже приводится программа вычисления удельной потери на трение, которая может быть применена и при «ручном», и при компьютерном счете.

Аэродинамический расчет можно выполнять и табличным процессором (Excel), составление «автоматизированной» таблицы аэродинамического расчета требует для своего оформления знания встроеного в Excel языка VBA (разновидность языка MS Visual Basic).

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие.....	3
1. Расчетные параметры наружного воздуха и воздуха помещений для проектирования вентиляционных систем	4
2. Инженерные расчеты потерь давления в воздуховодах и каналах вентиляционных систем.....	5
2.1. Особенности аэродинамического расчета «ручным» способом.....	5
2.2. Особенности аэродинамического расчета с применением вычислительной системы Mathcad и Excel.....	9
3. Расчет вытяжных систем вентиляции с гравитационным побуждением.....	15
3.1. Конструирование гравитационных вытяжных систем	15
3.2. Особенности расчета гравитационных вытяжных систем.....	17
3.3. Конструирование и расчет вытяжных гравитационных систем в многоэтажных зданиях с каналами, расположенными в вентиляционных панелях	29
4. Расчет воздуховодов и каналов приточных и вытяжных систем вентиляции с механическим побуждением.....	37
4.1. Особенности конструкции систем с механическим побуждением	37
4.2. Аэродинамическая увязка систем с механическим побуждением	37
5. Аэродинамический расчет сетей воздуховодов, по которым перемещается воздух, содержащий частицы твердого материала.....	47
6. Подбор фильтра, воздухоподогревателя и шумоглушителя для приточной камеры вентиляционной системы гражданского здания.....	67
6.1. Подбор фильтра для очистки приточного воздуха от пыли	67
6.2. Подбор воздухонагревателя (калорифера)	68
6.3. Подбор шумоглушителя.....	70
Библиографический список	83

Учебное издание

Тертичник Евгений Иванович
РАСЧЕТЫ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

Редактор *А.К. Смирнова*
Корректор *В.К. Чупрова*
Компьютерная правка, верстка *О.В. Суховой*
Дизайн обложки *Д.Л. Разумного*

Подписано в печать 16.12.2016. И-67. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 5,11. Тираж 200 экз. Заказ 355

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет».
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ — МГСУ.
Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru.

Отпечатано в типографии Издательства МИСИ — МГСУ.
Тел. (499) 183-91-90, (499) 183-67-92, (499) 183-91-44