

Лабораторная работа №2

Регулирование воздуховодов системы вентиляции

Цель работы

Настоящая лабораторная работа частично воспроизводит реальную работу, которую приходится выполнять инженеру-вентиляционщику по наладке смонтированных или капитально отремонтированных вентиляционных систем.

Вентиляционные системы после монтажа или капитального ремонта приходится регулировать, так как вновь смонтированные или капитально отремонтированные системы обычно не подают предусмотренное проектом количество воздуха в помещения. Причины этого нежелательного явления могут быть следующими:

- воздуховоды стандартных диаметров не позволяют в достаточной степени выполнить их аэродинамическую увязку;
- фактические характеристики вентиляторов отличаются от характеристик, приводимых в каталогах;
- точный аэродинамический расчёт не выполнялся, подбор диаметров производился по скоростям;
- вентиляционная система смонтирована с отступлениями от проекта;
- в процессе выполнения расчётов были допущены ошибки.

Капитально отремонтированные системы ранее были отрегулированы, но во время капитального ремонта обычно производится замена вентиляционного оборудования на более современное, так как прежнее уже не выпускается. Устанавливаемое современное оборудование может иметь несколько иные характеристики, что приводит к разрегулировке системы и необходимости проведения повторных наладочных работ.

Последовательность выполнения наладочных работ

Прежде чем приступить непосредственно к наладке и регулировке вентиляционной системы, обязательно следует выполнить ряд поверочных работ:

1. Визуальным осмотром следует удостовериться, что система смонтирована в строгом соответствии с проектом, необходимо проверить соответствие проекту оборудования, трассировки и диаметров воздуховодов. В случае выявления несоответствий необходимо потребовать от монтажной организации устранить выявленные недочёты. До их полного устранения наладочные работы выполнять не следует, так как претензии к проектировщикам могут быть предъявлены лишь в случае невозможности наладки вентиляционной системы, смонтированной в строгом соответствии с проектом.

2. Следует удостовериться в достаточной плотности сети воздуховодов. С этой целью замеряются фактические расходы по всем (в зависимости от назначения системы) приточным или вытяжным решёткам, а также фактическая подача вентилятора. Если сумма расходов по всем решёткам или воздухораспределителям незначительно отличается от подачи вентилятора, плотность сети воздуховодов достаточна, можно выполнять последующий этап работ. В противном случае следует потребовать от монтажной организации обеспечить необходимую плотность сети. Вентиляционную систему с неплотной сетью воздуховодов невозможно отрегулировать, так как приточный воздух по пути к помещениям попросту теряется, а в вытяжных системах присосы не позволяют удалять в требуемом количестве воздух от мест вытяжки.

3. Необходимо сопоставить фактическую и предусмотренную проектом подачи. Если фактическая подача вентилятора равна или больше проектного значения, можно приступать к наладочным работам. Если фактическая подача вентилятора меньше проектного значения, наладочные работы теряют смысл, так как при недостаточном количестве подаваемого вентилятором воздуха невозможно обеспечить подачу притока в помещение в необходимых объёмах. Перед проведением наладочных работ следует обеспечить необходимую подачу вентилятора, этого можно добиться двумя путями:

- заменой уже смонтированного вентиляционного агрегата на другой, развивающий большие напор и расход;
- уменьшением диаметра шкива на электродвигателе, если вентиляционный агрегат имеет клиноремённую передачу, за счет чего увеличивается частота

вращения, напор и подача. Увеличение частоты вращения приводит не только к увеличению развиваемого вентилятором напора и подачи, но возрастает и потребляемая мощность. В частности, увеличение частоты вращения на 10% приводит к возрастанию требуемой мощности примерно на 30%. Если установленный электродвигатель достаточного запаса мощности не имеет, придётся заменить его или вентиляционный агрегат.

Виды регулирования

После того, как фактическая подача стала равна или несколько превышать предусмотренную проектом, можно приступать к регулированию. Следует иметь в виду, что факт превышения фактического расхода над проектным свидетельствует о том, что сечения воздухопроводов или каналов по какой-то причине завышены относительно требуемых. Этим можно воспользоваться для того, чтобы снизить потребление электрической энергии из сети и уменьшить эксплуатационные расходы. Способ наладки сети воздухопроводов, обеспечивающий снижение потребляемой электрической мощности относительно проектных значений, получил название *качественное регулирование*. Этот способ более трудоёмок, так как потребует уменьшения частоты вращения вентилятора, что не всегда осуществимо или может быть целесообразным с экономической точки зрения. Наряду с качественным способом существует менее трудоёмкий *количественный способ регулирования*. Этот способ состоит в фактическом увеличении аэродинамического сопротивления сети воздухопроводов до проектных значений, но расход электроэнергии возрастает и становится равным проектному. Увеличение аэродинамического сопротивления ответвлений достигается установкой на ответвления диафрагм или дроссель-клапанов.

До выполнения собственно регулировочных работ при качественном регулировании определяется новая частота вращения электродвигателя, обеспечивающая запроектированную подачу при уменьшенных потерях давления в сети, чтобы впоследствии можно было выполнить наладочные работы с учетом завышенных сечений воздухопроводов.

Определение требуемой частоты вращения обычно выполняется графическим построением (рис. 1):

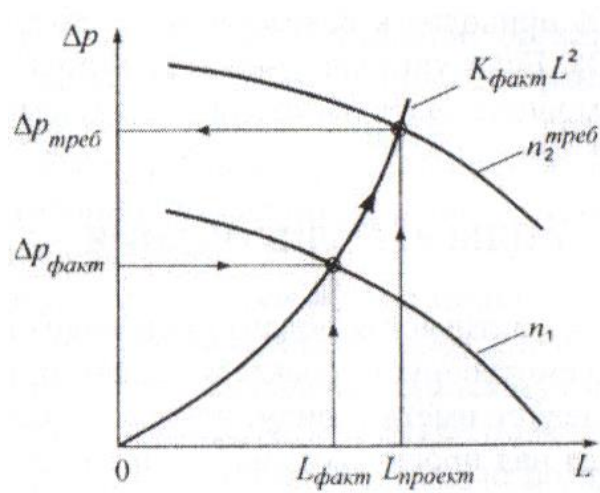


Рис. 1. К определению новой величины частоты вращения, позволяющей осуществить качественное регулирование вентиляционной системы в условиях $L_{факт} > L_{проект}$

- определяется фактическая характеристика сопротивления сети по фактической подаче и фактическому напору, развиваемому вентилятором, с помощью квадратичной зависимости между подачей и напором, предложенной профессором Бутаковым

$$\Delta p_{факт} = s_{факт} \cdot L_{проект}^2$$

где $s_{факт}$ – характеристика сопротивления сети вентиляционных воздуховодов;

$\Delta p_{факт}$ – фактический напор, развиваемый вентилятором в сети, Па;

$L_{факт}$ – фактическая подача вентилятора, м³/ч;

- вычисляется фактическая характеристика сопротивления налаживаемой вентиляционной системы

$$s_{факт} = \frac{\Delta p_{факт}}{L_{проект}^2}.$$

- на характеристику вентилятора наносится параболическая кривая

$$\Delta p = s_{факт} L^2$$

- через точку на оси абсцисс, соответствующую проектному расходу $L_{\text{проект}}$, проводится вертикаль до пересечения с параболой. Полученная точка является рабочей для проектного значения частоты вращения.

По этой рабочей точке определяется требуемая частота вращения рабочего колеса вентилятора. Рекомендуется принимать несколько большее значение частоты вращения, что обеспечит необходимый запас напора на случай возникновения непредвиденных потерь в сети во время регулировочных работ.

В вентиляционных сетях, воздуховоды которых соединяются с помощью фланцев или фланцевых соединений, сопротивления ответвлений часто увеличивают с помощью диафрагм. Диафрагму изготавливают из листа стали толщиной 0,7 мм по форме и размерам фланца воздуховода, в который она устанавливается. Поскольку диафрагма имеет малую толщину и место её установки определить сложно, для обозначения её положения диафрагма выкраивается с ручкой, которая выходит за пределы воздуховода. Ручка позволяет манипулировать диафрагмой при её установке, облегчая этот процесс. В случае необходимости диафрагму с ручкой легко обнаружить и заменить.

В вентиляционные сети с ниппельными и бандажными соединениями установить диафрагму практически невозможно. В этом случае на ответвления устанавливаются дроссель-клапаны, которые обладают рядом недостатков:

- дороже диафрагмы;
- зависимость сопротивления дроссель-клапана от степени закрытия клапана в области высоких сопротивлений имеет крутопадающий участок, что приводит к резкому изменению сопротивления при незначительном повороте диска клапана; точное регулирование в этом диапазоне характеристики невозможно;
- существует опасность произвольного нарушения регулировки вследствие случайного поворота диска клапана.

В лабораторном стенде регулирование производится с помощью стационарно установленных диафрагм, диаметр отверстия которых можно изменять.

Лабораторный стенд

Стенд представляет собой приточную вентиляционную систему, состоящую из вентилятора, камеры статического давления и сети воздухопроводов (рис. 2). Приток подаётся радиальным вентилятором. Напорный воздухопровод выходит из выхлопного отверстия

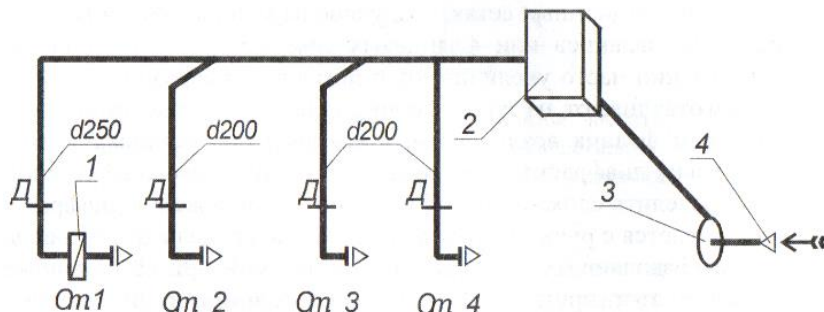


Рис. 2. Аксонометрическая схема воздухопроводов лабораторного стенда:

Д – диафрагма для измерения расхода; 1 – калорифер; 2 – камера статического давления; 3 – вентилятор; 4 – плавный вход в воздухопровод

вентилятора под углом к горизонту. По достижении отметки оси магистрали производится поворот на 90° с помощью камеры статического давления, в которой установлены выравнивающие скоростное поле воздушного потока устройства в виде спрямляющих решёток и слоёв пористого материала. Тем не менее, эти мероприятия оказались недостаточно эффективными и, как показывают замеры скоростного поля в магистрали, не смогли устранить искажения, вызванного истечением воздуха из выхлопного отверстия вентилятора.

Сеть воздухопроводов состоит из магистрали и четырех стояков. Стояк 4 имеет диаметр 250 мм, к нему в качестве местного сопротивления присоединён калорифер. Прочие три стояка имеют диаметр 200 мм.

Регулировочные и измерительные устройства

На стояках установлены измерительные ирисовые диафрагмы (рис. 3), позволяющие не только измерять, но и изменять расход воздуха в стояках. На фланцах нанесены шкалы, позволяющие определить степень открытия диафрагмы. Изменение площади отверстия производится перемещением движка вдоль кромки фланца диафрагмы. На ответвлениях диаметром 200 мм шкала имеет диапазон 6,6...31,7, при диаметре ответвления 250 мм – 8,5...59,2. Сверху и снизу диафрагмы

имеются штуцеры отборников статического давления, позволяющие измерять разность статических давлений.

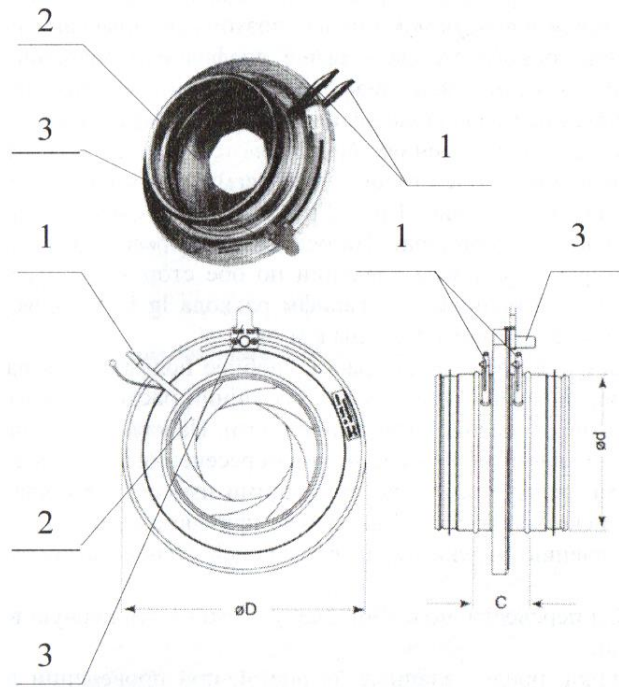


Рис. 3. Конструкция ирисовой диафрагмы: 1 – штуцеры отборников статического давления; 2 – «лепестки» ирисовой диафрагмы; 3 – рычаг, перемещением которого изменяется диаметр отверстия для прохода воздуха

Измерение расхода

Диафрагма является аэродинамическим сопротивлением, установленным в воздушном потоке, поэтому до диафрагмы (в случае лабораторного стенда – выше диафрагмы) давление будет большим, нежели после диафрагмы, а разность этих давлений расходуется на преодоление сопротивления диафрагмы.

Расходы в ответвлениях определяются по разности статических давлений по обе стороны диафрагмы с помощью графиков, представленных на рис. 4 и 5. Графики построены в логарифмической системе координат. На оси абсцисс графиков откладывается логарифм разности давлений по обе стороны диафрагмы – $\lg(\Delta p)$, по оси ординат – логарифм расхода $\lg L$, измеряемого в л/с. В скобках указаны расходы в м³/ч.

В процессе наладочных работ удобнее пользоваться расходами, измеренными в м³/с, так как все линии расходов на графике соответствуют именно этой размерности. На каждом из графиков имеются наклонные прямые, точки

пересечения которых с вертикальными прямыми, соответствующими измеренному давлению, укажут искомый расход. Наклонные прямые соответствуют каждому значению шкалы, характеризующей степень открытия диафрагмы.

Чтобы перевести л/с в м³/ч, следует умножить первую величину на 3,6.

Графики, представленные на рис. 4, при проведении лабораторной работы приходится использовать двояким образом:

- по величине измеренной разности статических давлений по обе стороны диафрагмы определяется расход;
- определяется необходимая разность статических давлений, которую следует обеспечить в ответвлении для получения заданного расхода в стояке.

Если положение движка не совпадает с делениями шкалы, производится интерполяция между соседними прямыми, соответствующими ближайшим большему и меньшему значениям степени открытия диафрагмы.

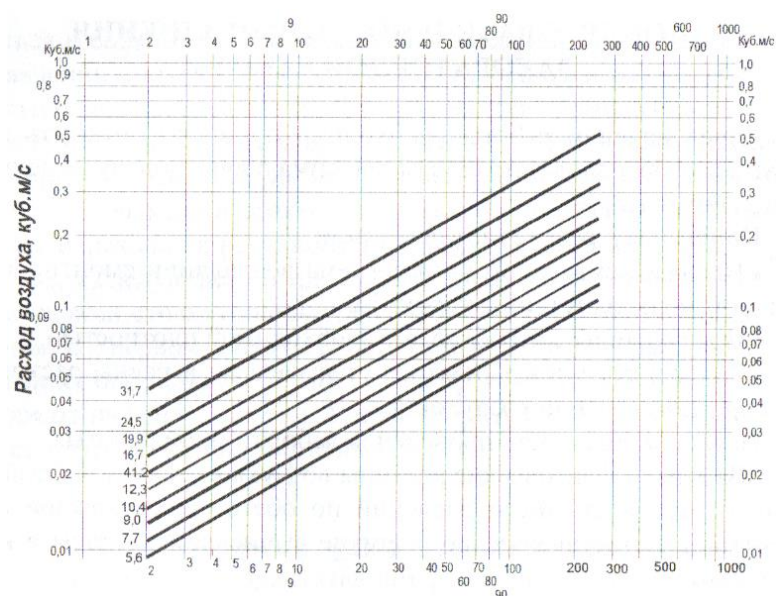


Рис. 4. График для определения расходов через диафрагму диаметром 200 мм

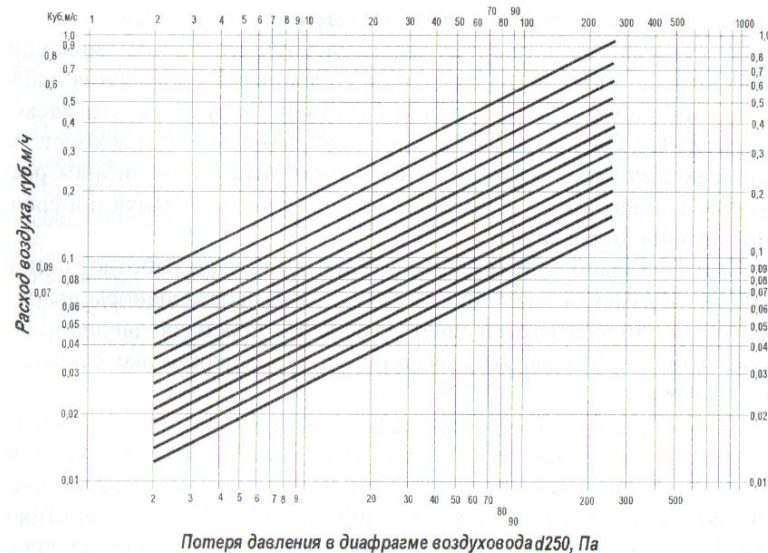


Рис. 5. График для определения расходов через диафрагму диаметром 250 мм

Последовательность выполнения лабораторной работы

Перед началом работы необходимо полностью открыть диафрагмы, обеспечив тем самым максимальную подачу воздуха в сеть вентилятором.

Приступая к работе, предполагаем:

- налаживаемая приточная система вентиляции смонтирована в строгом соответствии с проектом.
- Воздуховоды сети обладают необходимой плотностью.
- Замеры подачи вентилятора произведены и равны расходу в поперечном сечении воздухопровода.

Последовательность проведения лабораторной работы:

- замеряем фактические расходы воздуха в стояках. С этой целью измеряем разности давлений по обе стороны каждой диафрагмы на ответвлении, по формуле вычисляем расходы в каждом стояке.
- Суммируем расходы в ответвлениях и сопоставляем полученный результат с расходом на выходе из вентилятора. Если невязка не превышает 15%, то продолжаем работу и далее.

Преподаватель назначает новые расходы на стояках, меньшие по величине, нежели существующие на момент проведения лабораторной работе. Для упрощения выполнения работы эти расходы должны быть меньше фактических измеренных расходов на стояках и должны соответствовать горизонтальным

линиям расходов на диаграмме. Их необходимо получить, изменяя поперечное сечение диафрагм.

Наладка выполняется двумя студентами: один работает с диафрагмой, изменяя диаметр отверстия в ней перемещением рычага у шкалы, другой отслеживает изменение перепада давлений по обе стороны диафрагмы и сравнивает его с перепадом давления по диаграмме.

Работу рекомендуется начинать с самого удалённого от вентилятора стояка. Уменьшение расхода в стояке от фактического до требуемого достигается перемещением рычага на корпусе диафрагмы в сторону больших значений шкалы. Сечение отверстия в диафрагме постепенно будет уменьшаться. Увеличение перепада давления по обе стороны диафрагмы должно постоянно отслеживаться и соотноситься с перепадами давления по диаграмме в направлении справа налево по горизонтальной линии постоянного расхода для данного стояка. По достижении совпадения разности давлений, измеренных микроманометром, с перепадом давлений на горизонтальной линии диаграммы, соответствующей заданной величине расхода в стояке, записывают это значение в таблицу. Затем переходят к регулированию расхода для следующего стояка, затем следующего и т.д. По завершении регулирования расходов на всех стояках вновь проверяют соответствие перепада давления на первом стояке установленному ранее значению. Как правило, оно изменится. Поэтому в прежнем порядке ещё раз повторяют наладку системы. Удовлетворительный результат удаётся получить с 3-й или 4-й попытки. Невязка разностей давлений по обе стороны диафрагмы по результатам 2-го и 3-го приближений определяется по формуле

$$\text{Невязка} = \frac{\Delta p_2 - \Delta p_3}{\Delta p_3} \cdot 100$$

Наладка может считаться завершённой, если невязка не превышает 10%.

Таблица 2.

Таблица записи результатов измерений расходов в стояках и результатов замеров разностей давления в процессе выполнения наладочных работ

Измеряемая величина	Ед. изм.	№ стояков
---------------------	----------	-----------

		1	2	3	4
1	2	3	4	5	6
<i>Измерение расходов в стояках</i>					
Показания микроманометра, при- соединённого до диафрагмы, $h_{\text{до}}$	Деления шкалы				
Показания микроманометра, при- соединённого после диафрагмы, $h_{\text{после}}$	То же				
Разность показаний микроманометра по обе стороны диафрагмы, $h_{\text{до}} - h_{\text{после}}$	То же				
Коэффициент K	б/р				
Разность давлений $9,81(h_{\text{до}} - h_{\text{после}})K$	Па				
Степень открытия диафрагмы	Деления шкалы				
Расход воздуха «на проход»	м ³ /ч				
1	2	3	4	5	6
<i>Результаты наладочных работ</i>					
1 -е приближение					
Показания микроманометра, при- соединённого до диафрагмы, $h_{\text{до}}$	Деления шкалы				
Показания микроманометра, при- соединённого после диафрагмы, $h_{\text{после}}$	То же				
Разность показаний микроманометра по обе стороны диафрагмы, $h_{\text{до}} - h_{\text{после}}$	Па				
Коэффициент K	б/разм				
Разность давлений, $\Delta p_1 = 9,81(h_{\text{до}} - h_{\text{после}})K$	Па				
2-е приближение					

Показания микроманометра, присоединённого до диафрагмы, $h_{\text{до}}$	Деления шкалы				
Показания микроманометра, присоединённого после диафрагмы, $h_{\text{после}}$	То же				
Разность показаний микроманометра по обе стороны диафрагмы, $h_{\text{до}} - h_{\text{после}}$	То же				
Коэффициент K	б/разм				
Разность давлений $\Delta p_2 = 9,81(h_{\text{до}} - h_{\text{после}})K$	Па				
3-е приближение					
Показания микроманометра, присоединённого до диафрагмы, $h_{\text{до}}$	Деления шкалы				
Показания микроманометра, присоединённого после диафрагмы, $h_{\text{после}}$	То же				
Разность показаний микроманометра по обе стороны диафрагмы, $h_{\text{до}}$	То же				
Коэффициент K	б/разм				
Разность давлений $\Delta p_3 = 9,81(h_{\text{до}} - h_{\text{после}})K$	Па				