

## Воздушно-тепловая завеса проемов ворот складов и гаражей: конструкция, применение

Воздушная завеса представляет собой струю воздуха, со значительной скоростью подаваемого под углом 30...45° к плоскости ворот, что препятствует проникновению холодного воздуха, если ворота открыты. При необходимости можно повысить температуру воздушной струи. Воздушная завеса не препятствует движению транспорта и людей, существенно уменьшая при этом количество проникающего снаружи в помещение воздуха.

Воздушно-тепловые завесы для складов бывают двух типов – смесительного и шиберующего. В завесах смесительного типа наружный воздух, поступаая через проем в здание, смешивается с потоком воздуха, создаваемым завесой, установленной рядом с проемом. Завесы этого типа устанавливают в основном у входных дверей вспомогательных зданий и помещений.

У ворот и проемов складских помещений рекомендуется устраивать завесы шиберующего типа, именно их мы и будем рассматривать ниже. Основными узлами такой воздушной завесы являются воздуховод, вентилятор, калорифер, воздуховод равномерной раздачи, щелевая насадка. Главный элемент конструкции – это воздуховод равномерной раздачи, снабженный щелевой насадкой с направляющими пластинами, через которую воздушная струя направляется под некоторым углом к плоскости ворот (рис. 1)

### Классификация воздушных промышленных завес

Конструктивно воздушные завесы этого типа подразделяют следующим образом:

- по режиму работы;
- по направлению струи;
- по месту воздухозабора и температуре подаваемого воздуха.

Одним из основных принципов классификации считается режим работы воздушных завес. В соответствии с ним завесы бывают двух типов – периодического действия (у периодически открываемых проемов) и постоянного действия (у постоянно открытых проемов).

Режим работы их определяется требованиями технологии. Периодичность действия требует провести расчет и наладку завесы так, чтобы ее работа не нарушала тепловой и воздушный режимы помещения. Если воздушная завеса работает постоянно, ее можно использовать не только по прямому назначению: возможно, например, организовать приток воздуха или вытяжку, использовать завесу в качестве отопительного агрегата.

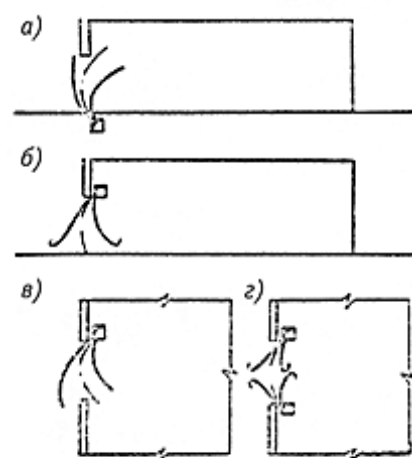


Рис. 1. Схемы воздушных завес шиберующего типа с разным направлением струи:  
а – снизу вверх; б – сверху вниз;  
в – боковая односторонняя завеса;  
г – боковая двусторонняя завеса

### По направлению струи воздушные завесы можно разделить на три вида:

- с направлением струи снизу вверх – через горизонтальную щель, расположенную внизу проема (рис. 1, а);
- с направлением струи сверху вниз с подачей воздуха через горизонтальную щель, расположенную вверху проема (рис. 1, б).
- с горизонтальным направлением струи – одно- и двусторонние с подачей воздуха через вертикальную щель, расположенную с одной (рис. 1, в) или с двух сторон проема (рис. 1, г).

Для проемов в наружных ограждениях целесообразно устройство завес с подачей воздуха снизу вверх, так как при этом надежней предотвращается проникновение холодного воздуха в нижнюю часть помещения; эти завесы наиболее экономичны и эффективны, на них расходуется меньше приточного воздуха (рис. 2). Существенный недостаток нижней завесы заключается в том, что воздухоподающие щели и каналы часто засоряются.

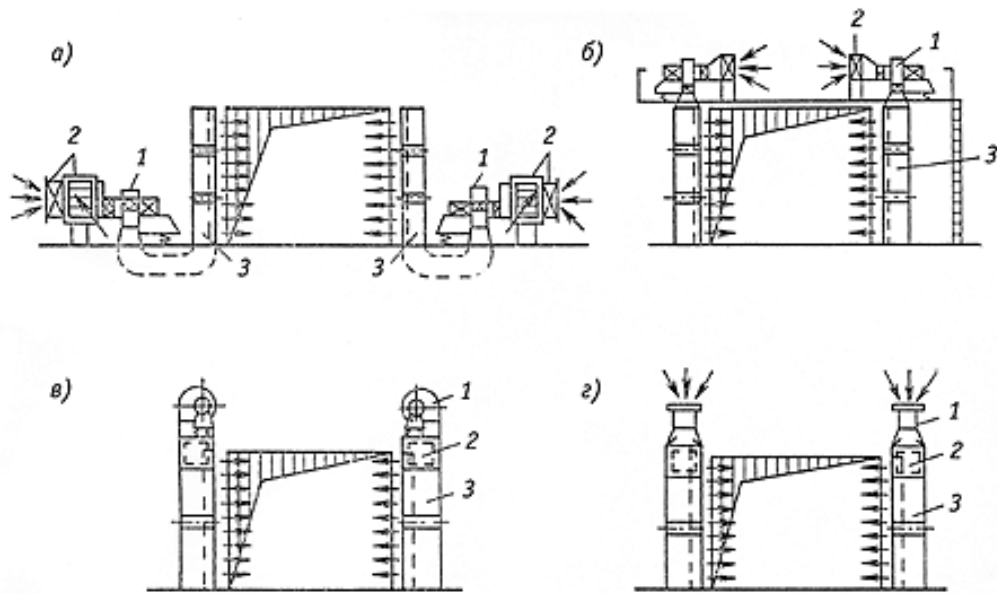


Рис. 2. Схемы установки агрегатов завес шиберующего типа:  
 а – центробежные вентиляторы и калориферы на полу; б – то же на площадке над воротами;  
 в – то же на раздаточных коробах; г – осевые вентиляторы и калориферы на раздаточных коробах;  
 1 – вентилятор, 2 – калорифер, 3 – раздаточный короб

В тех случаях, когда возможна остановка транспорта в открытом проеме или засорение горизонтальной щели сыпучими материалами, падающими с проходящего транспорта, а также при установке в проеме транспортера или другого оборудования лучше устраивать завесу с боковой подачей воздуха. Завесы этого типа получили наиболее широкое распространение. При большой ширине ворот и при необходимости задержки транспорта в воротах эти завесы могут быть выполнены с двусторонней боковой подачей воздуха.

Завесы с подачей воздуха сверху вниз можно рекомендовать для случаев, когда перепад давлений с двух сторон ограждения постоянен по высоте. Для проемов в наружных стенах зданий этот вид завес менее подходит, так как возможен прорыв холодного наружного воздуха в нижнюю часть помещения.

**По месту воздухозабора и температуре подаваемого воздуха воздушные завесы можно разделить на четыре вида:**

- воздушные завесы с внутренним воздухозабором и подогревом подаваемого воздуха (рис. 3, а) устраивают у проемов в наружных ограждениях складских помещений с повышенными требованиями к воздушной среде. В таких помещениях устанавливать воздушные завесы с наружным забором воздуха нецелесообразно – это увеличит затраты на его подогрев и очистку;
- завесы с внутренним воздухозабором без подогрева подаваемого воздуха (рис. 3, б и в) устраивают у проемов в наружных ограждениях помещений складов, где допускается некоторое периодическое понижение температуры;
- завесы с наружным воздухозабором и подогревом подаваемого воздуха (рис. 3, г) – постоянного действия. В некоторых случаях при значительных размерах помещения целесообразно, чтобы агрегат воздушной завесы постоянно работал и при периодическом открытии ворот;

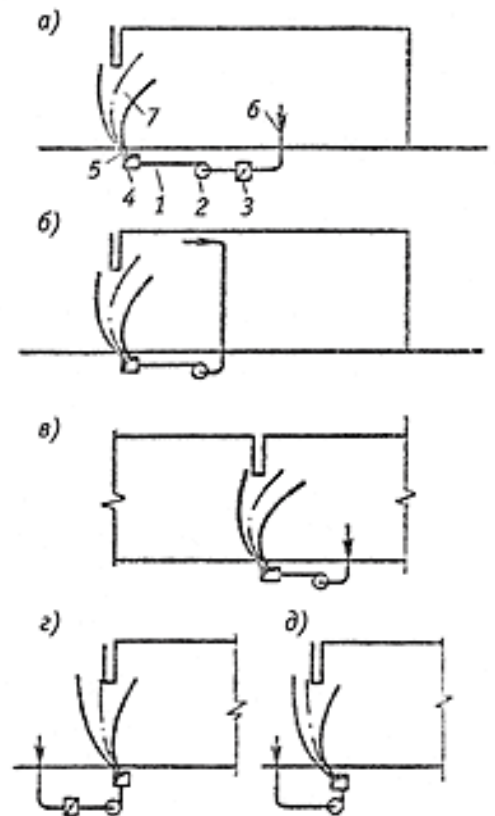


Рис. 3. Схемы воздушных завес с разными воздухозабором и температурой подаваемого воздуха: а – с внутренним воздухозабором и подогревом подаваемого воздуха; б и в – с внутренним воздухозабором, но без подогрева подаваемого воздуха; г – с наружным воздухозабором и подогревом подаваемого воздуха; д – с наружным воздухозабором, но без подогрева подаваемого воздуха; 1 – воздуховод; 2 – вентилятор; 3 – калорифер; 4 – воздуховод равномерной раздачи; 5 – щелевая насадка; б – воздухозабор; 7 – струя завесы

- завесы с наружным воздухозабором без подогрева подаваемого воздуха (рис. 3, д).

Вентиляционную установку завесы при внутреннем воздухозаборе можно использовать как отопительный агрегат в зоне ворот, где обычно наблюдается интенсивная инфильтрация, а при наружном воздухозаборе – как приточную установку общеобменной вентиляции.

### **Требования к проектированию воздушных и воздушно-тепловых завес**

Устройство воздушных завес в складских помещениях должно отвечать требованиям СНиП 31-04-2001 «Складские здания» и СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». Согласно СНиП 41-01-2003 воздушные и воздушно-тепловые завесы в складских помещениях предусматривают в следующих случаях:

- у постоянно открытых проемов и наружных стен складов, а также у ворот и проемов в наружных стенах, не имеющих тамбуров и открывающихся более 5 раз или не менее чем на 40 минут за смену в районах с расчетной температурой наружного воздуха  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже;
- при возможной остановке транспорта непосредственно в проеме;
- в складских помещениях с кондиционированием воздуха у наружных дверей, ворот и технологических проемов.

Тепло, создаваемое воздушными завесами периодического действия, не следует учитывать в воздушном и тепловом балансе складского здания. Температуру воздуха, подаваемого воздушно-тепловыми завесами, следует принимать не выше  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$  у наружных дверей и не выше  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$  у наружных ворот и проемов.

Расчетную температуру смеси воздуха, поступающей в складские помещения через наружные двери, ворота и проемы, следует принимать от  $+5$  до  $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$  в зависимости от технологических требований. Воздушные и воздушно-тепловые завесы у наружных проемов, ворот и дверей рассчитывают с учетом ветрового давления. Скорость выпуска воздуха из щелей или отверстий воздушных и воздушно-тепловых завес принимается не более  $8\text{ м/с}$  у наружных дверей и  $25\text{ м/с}$  – у ворот и технологических проемов.

### **Расчет воздушных и воздушно-тепловых завес**

Наружный воздух попадает в помещение через ворота и другие проемы в стенах здания вследствие разности давлений снаружи и внутри здания. Количество воздуха, подаваемого завесой, должно полностью исключить проникновение холодного наружного воздуха.

Приступая к расчетам и проектированию воздушных завес, прежде всего определяют исходные данные: размер ворот, количество наружного воздуха, которое проходит в помещение через проем без работы завесы, расчетные температуры наружного и внутреннего воздуха. Основными параметрами, определяемыми расчетом, являются производительность завесы по воздуху, угол и скорость подачи воздуха в зависимости от размеров проема, мощность калорифера для подогрева воздуха.

### **В настоящее время существует несколько методик расчета промышленных воздушных завес.**

Ниже приведен приближенный метод. Он является достаточно условным, так как значение дальнобойности струи (расстояние между точками пересечения оси завесы с плоскостью ворот) рассчитывается геометрическим способом, и основан на применении коэффициента дальнобойности, зависящего от угла наклона и коэффициента турбулентности струи завесы и определенного на основе расчета и экспериментальных данных для случая равномерного распределения скоростей горизонтального потока.

**Количество воздуха, поступающего в единицу времени, или расход,  $\text{м}^3/\text{с}$ , через любой открытый проем,  $L_{\text{пр}} = vNB$ , где**

- $v$  – скорость воздуха,  $\text{м/с}$ ;
- $N$  и  $B$  – соответственно высота и ширина проема,  $\text{м}$ .

**Расход воздуха,  $\text{м}^3/\text{с}$ , необходимый для создания завесы в проеме, полностью исключаящей прорыв холодного наружного воздуха на склад,  $L_{\text{зав}} = L_{\text{пр}}/j(B/b+1)$ , где**

- $j$  – коэффициент дальнобойности воздушного потока завесы, который можно принять  $0,45$ ;
- $b$  – ширина щели канала, через которую воздух поступает к завесе,  $\text{м}$ .

**Тепловая мощность калорифера**, ккал/ч,  $Q_{зав} = 0,24L_{зав} (t_z - t_{нач})$ , где

- $t_z$  – температура воздуха струи завесы, °С;
- $t_{нач}$  – нормируемая (или наружная) температура в зависимости от места забора воздуха, °С.

Более точная методика расчета воздушных завес основана на применении условного коэффициента расхода воздуха, который определяется как отношение количества воздуха, подаваемого в завесу, к количеству воздуха, проходящего через ворота. Полностью она изложена в работах В.М. Эльтермана «Воздушные завесы» и «Указания по расчету воздушных завес».

### Конструкции промышленных завес

Как указывалось выше, воздушные и воздушно-тепловые промышленные завесы по направлению воздушной струи подразделяются на нижние, верхние, боковые односторонние и боковые двусторонние с одинаковыми и разными углами выхода струи. Ниже мы рассмотрим некоторые конструкции воздушно-тепловых завес, разработанных ЦНИИПромзданий. На рис. 4 показана конструкция нижней завесы для автомобильных ворот. Вентиляционный агрегат находится на уровне пола у ворот.

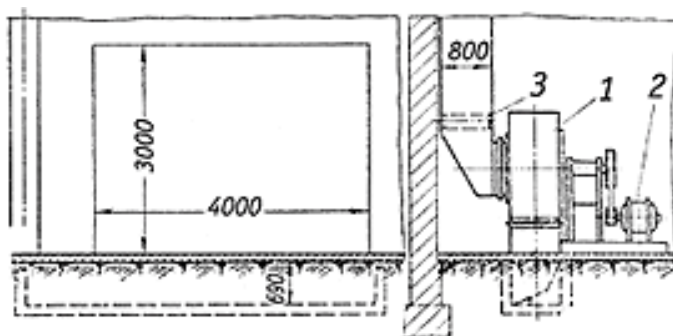


Рис. 4. Нижняя завеса для автомобильных ворот склада: 1 – вентилятор; 2 – калорифер; 3 – направляющий аппарат

Как правило, у ворот для въезда-выезда транспорта устраивают воздушные завесы шиберующего типа. В этом случае воздушная струя завесы, уменьшая количество проникающего через проем воздуха, частично заграждает проем. В воздушных завесах шиберующего типа воздух рекомендуется выпускать через щелевидные насадки под углом 30° к плоскости проема с направлением наружу.

Чтобы обеспечить устойчивое направление воздушного потока, глубину направляющих щелевидной насадки для выпуска воздуха принимают в 2,5 раза больше ширины щели и скорость движения воздуха в начале раздаточного короба для обеспечения равномерности раздачи – не более 70% скорости выхода воздуха из щели.

Раздаточные короба располагают с внутренней стороны проема на расстоянии не более  $0,1(F_{пр})^{1/2}$

( $F_{пр}$  – площадь проема, оборудованного завесой)

от его плоскости, так чтобы они забирали воздух для завесы на уровне установки агрегата. Забор воздуха из верхней зоны помещения целесообразен, если температура там выше, чем в зоне размещения агрегата, на 5 °С и более.

У автомобильных и железнодорожных ворот рекомендуется устраивать двусторонние завесы шиберующего типа: они более надежно перекрывают проем при движении или остановке транспорта. Боковые завесы выполняют с различным расположением вентиляционных агрегатов, и располагаются они как на уровне пола, так и на площадках над воротами. Боковые завесы могут быть выполнены с одним вентилятором на оба стояка или с вентилятором на каждом стояке.

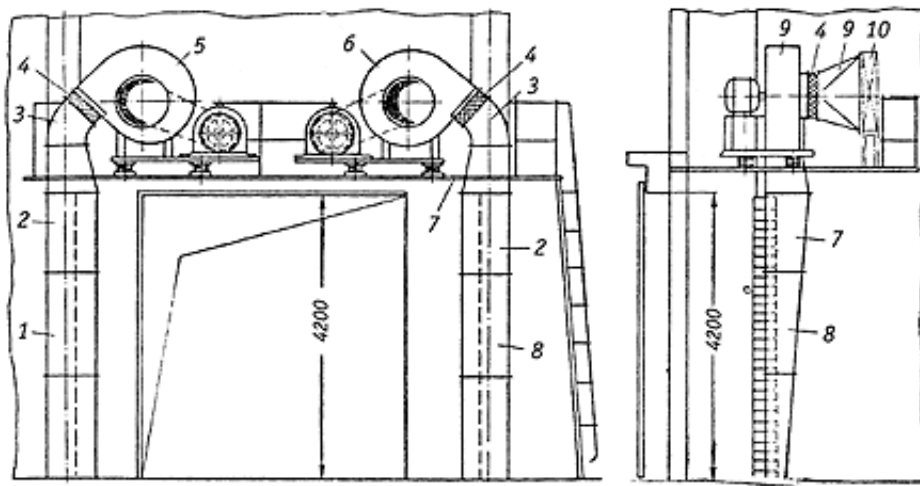


Рис. 5. Двусторонняя боковая завеса для автомобильных ворот высотой 4200 мм и шириной 4000 мм: 1, 2 – раздаточные короба; 3 – переходной патрубков; 4 – гибкие вставки; 5, 6 – вентиляторные установки; 7 – металлическая площадка; 8 – дополнительная насадка раздаточных коробов; 9 – конфузор; 10 – calorиферы

На рис. 5 показана боковая воздушно-тепловая завеса для автомобильных ворот с воздушными агрегатами, расположенными над воротами на каждом стояке.

Эта типовая воздушная завеса разработана для раздвижных и распашных ворот размерами 3x3; 4x3; 4x4,2; 4,7x5,6м. Завесы можно монтировать с calorиферами, параметры которых рассчитываются, или без них. Компоновка вентиляционных агрегатов позволяет устанавливать воздухопроводы для забора воздуха из разных зон помещения.

Над воротами рекомендуется устанавливать воздушные завесы с подачей до 38 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Воздушно-тепловые завесы с верхней подачей воздуха рекомендуется устанавливать в высоких зданиях. Схема такого устройства показана на рис. 6. Воздух в завесу подается с достаточно высокой температурой: +55...+65 °С.

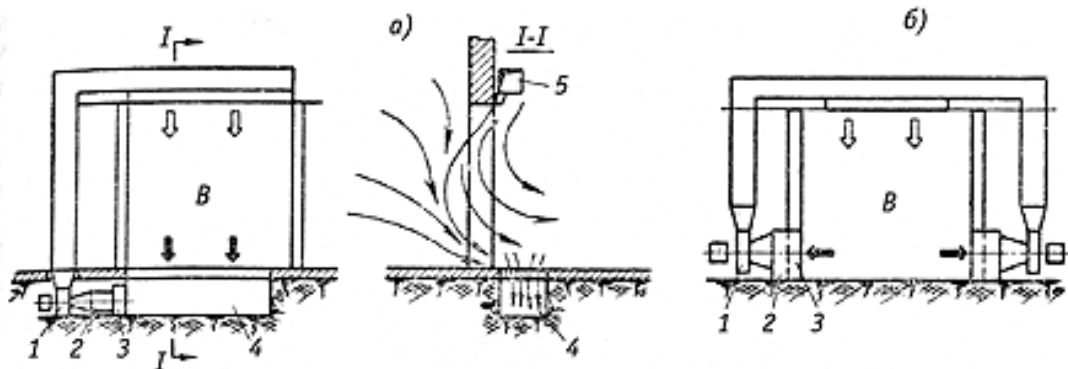


Рис. 6. Схемы воздушных завес с верхней подачей воздуха: а – отсос воздуха снизу; б – отсос воздуха сбоку; 1 – вентилятор; 2 – calorифер; 3 – фильтр; 4 – канал для забора воздуха; 5 – воздухоораздаточный короб

Циркуляционные завесы устраивают с забором воздуха снизу проема. Для очистки воздуха от пыли служат фильтры. Благодаря высокой температуре подаваемого в завесу воздуха можно значительно снизить его расход на завесу.

При этом агрегат для завесы получается сравнительно небольшим и занимает мало места, а направление горячего воздуха сверху вниз, к плоскости земли, препятствует выходу горячего воздуха струи завесы наружу, обеспечивая значительное снижение потерь тепла. При отсосе воздуха снизу или сбоку в нижней части ворот отбирается наиболее холодная и тяжелая часть воздуха, проникающего в ворота.

Одним из основных конструктивных элементов воздушных завес является раздаточный короб с воздуховыпускной щелью. Он должен обеспечивать выход воздуха под заданным углом к плоскости ворот и под прямым углом к оси воздухопровода. Чтобы воздух струи завесы меньше смешивался с наружным воздухом, рекомендуется иметь на выходе из щели равномерное поле скоростей.

На входе в щелевидную насадку рекомендуется устанавливать конфузор. Для того чтобы увеличить глубину ограждения стенки, щелевую насадку на большую ее часть утапливают в раздаточный короб. У

типовых стояков воздухоподаточных коробов с сечением в основании 470x470; 600x600; 650x650; 800x800 и 950x950 мм ширина щели составляет от 50 до 200 мм, длина – 3 м.

При устройстве воздушных завес для ворот высотой 4,2 и 5,6 м применяют дополнительную насадку длиной 1,2 м. Для выравнивания потока, а также чтобы создать более прочную решетку, щель разгораживают двумя продольными перегородками и поперечные перегородки устанавливают через каждые 40...50 мм.

Воздухораспределительные воздуховоды для нижних завес следует делать как сужающиеся к концу воздуховоды равномерной раздачи. Чтобы обеспечить бо́льшую равномерность выхода воздуха по длине воздуховода, площадь сечения в конце воздуховода рекомендуется принимать в два раза больше площади воздуховыпускных щелей. Чем меньше продольная скорость воздуха в воздуховоде, тем более плавным будет его вход в щелевидную насадку и меньше турбулентность струи.

В боковых завесах с движением воздуха в стояках сверху вниз можно изготавливать воздуховоды одинакового сечения по всей длине. В этом случае неравномерность выхода воздуха по длине воздуховода (у низа ворот будет выходить больше воздуха) не является отрицательным фактором, а скорее, положительным, так как здесь имеют место большие скорости прохода воздуха через ворота. Малые продольные скорости в конечном участке воздуховода будут способствовать более плавному входу воздуха в щелевидную насадку.

Для регулирования расхода воздуха, подаваемого вентилятором в завесу, применяют разные способы: упрощенный направляющий аппарат языкового типа, закручивающий аппарат, дроссели, шиберы.

### **Автоматическое регулирование воздушных завес**

При автоматизации завес должны решаться следующие задачи:

- пуск и остановка электродвигателя вентилятора воздушной завесы в зависимости от положения ворот;
- регулировка объема воздуха, подаваемого в завесу, в зависимости от разности температур внутри и снаружи помещения;
- регулировка температуры воздуха, подаваемого в завесу;
- пуск и остановка агрегата воздушной завесы в зависимости от температуры воздуха в помещении около ворот. Воздушные завесы начинают эксплуатировать, когда температура наружного воздуха становится ниже +5...+10 °С.

В соответствии с этим регулирование количества воздуха, подаваемого в воздушную завесу, следует осуществлять только в пределах до 38...50% полной производительности. При этом устройство автоматического регулирования значительно упрощается.

Устройство автоматического управления воротами дает возможность до минимума сократить время, в течение которого они остаются открытыми. При устройстве воздушной завесы ее следует оборудовать автоматическим регулированием расхода воздуха.

**Нерегулируемая завеса неэффективна:** даже кратковременная ее работа может вызвать выброс значительной массы теплого воздуха, переохлаждение помещения и нарушение работы естественной вентиляции (фонарей, дефлекторов, шахт). Из-за повышенного разрежения в складских помещениях эти устройства могут работать «на приток», загрязняя воздух внутри помещения.

Наличие автоматического управления воротами облегчает возможность устройства автоматического регулирования расхода воздуха, подаваемого в завесу, так как многие приборы будут общими для обеих систем автоматики, и, кроме того, позволяет снизить расход тепла и электроэнергии. Эта экономия особенно значительна при устройстве автоматического регулирования у ворот, открываемых на длительное время. Регулировать расход воздуха, подаваемого в завесу, можно по разности давлений внутри и снаружи здания и по разности температур.

Регулирование под непосредственным воздействием разности давлений более полно отражает условия, определяющие работу воздушной завесы. В этом случае будет учтено изменение давления не только из-за изменения разности температур, но также от воздействия ветра и изменения состояния герметичности здания (открытия дверей или окон в нижней или верхней его части).

Однако регулировать степень открытия регулирующего аппарата датчиком, воспринимающим разность давления снаружи и внутри здания, можно только при закрытых воротах, когда завеса не работает. Это объясняется тем, что при открытых воротах и действующей завесе воспринимаемая

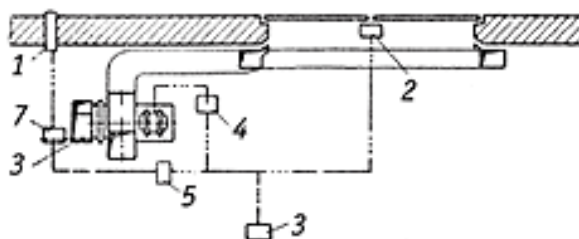
датчиком разность давлений будет зависеть не только от теплового напора, силы ветра и степени открытия приточных и вытяжных отверстий в складе, но и от действия самой завесы.

В таком случае с увеличением разрежения в помещении регулирующий аппарат может быть приведен в крайнее положение, тогда как при открытых воротах он должен фиксироваться в том положении, в каком был до открытия ворот. Когда ворота открыты и завеса действует, положение регулирующего аппарата должно оставаться неизменным.

Таким образом, если ворота открываются периодически на сравнительно небольшое время, можно ставить датчик разности давлений. В случаях, когда ворота во время работы склада открыты длительно или постоянно, использовать датчик разности давлений нельзя, и следует применять температурный датчик.

Регулирование по разности температур удовлетворительно обеспечивает соответствие объема подаваемого в завесу воздуха изменяющимся условиям работы завесы. Это объясняется тем, что в зимнее время тепловой напор, возникающий из-за разности температур, является основным фактором, создающим разность давлений вне здания и внутри.

Так как температура воздуха в здании поддерживается в течение отопительного периода примерно одинаковой, регулирование можно вести только по температуре наружного воздуха. Это значительно упрощает устройство автоматики (рис. 7).



**Рис. 7. Технологическая схема автоматического регулирования расхода воздуха, подаваемого в воздушную завесу из верхней зоны помещения без дополнительного подогрева:**  
1 – датчик, воспринимающий перепад давлений или температур в помещении и снаружи здания; 2 – конечный выключатель; 3 – датчик температуры; 4 – магнитный пускатель; 5 – электропневматическое реле; 6 – упрощенный регулирующий аппарат; 7 – исполнительный механизм; штрих-пунктирными линиями обозначены линии связи автоматики

Для упрощения рассматривается схема с ручным открытием ворот. Конечный выключатель, установленный у ворот, срабатывает при их открытии, и через магнитный пускатель включается вентилятор воздушной завесы. Одновременно с пуском завесы открывается регулирующий аппарат 6, который до этого был полностью закрыт.

Датчик 1, воспринимающий разность давлений или температур внутри и снаружи помещения, определяет степень открытия регулирующего аппарата. Чем больше эта разность, тем больше открывается регулирующий аппарат. Кроме датчика 1 может быть установлен датчик температуры в помещении склада около ворот. Он включает воздушную завесу и открывает аппарат 6, когда ворота закрыты, но температура воздуха упала ниже допустимой.

В этом случае завеса будет работать как отопительный агрегат. Если исполнительный механизм является пневматическим, то в схему дополнительно надо включить электропневматическое реле. Для подогрева воздуха, подаваемого в завесу, устанавливается калорифер, работа которого должна быть заблокирована с работой вентилятора.

Установка двух вентиляторов на каждый стояк дает дополнительные возможности для регулировки путем последовательного включения вентиляторов. При температуре наружного воздуха  $+5...+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , когда обычно начинают работать воздушные завесы, следует включать не оба вентилятора сразу, а для начала только один.

С учетом того, что односторонние завесы более эффективны, чем двусторонние, работа одного вентилятора на его расчетную производительность обеспечит требуемые санитарно-гигиенические условия на складе у ворот при разности температур  $0,55...0,6$  от расчетной разности. Только когда

разность температур станет больше, чем 55...60% расчетной, необходимо будет включить второй вентилятор и подавать воздух в оба стояка (рис. 8).

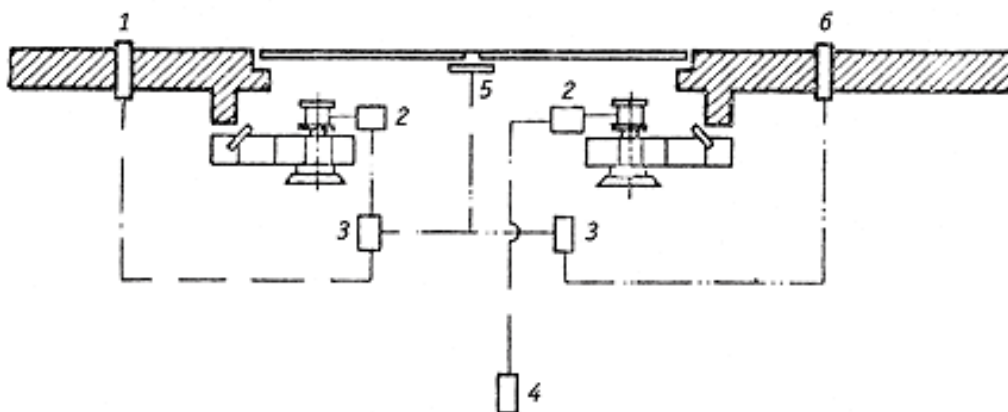


Рис. 8. Технологическая схема автоматического регулирования воздушных завес с двумя вентиляционными агрегатами: 1 – датчик температур, выставленный на  $+5...+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 2 – магнитный пускатель; 3 – реле; 4 – датчик температуры в помещении; 5 – конечный выключатель; 6 – датчик температуры, выставленный на  $-6,5...+10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Схема автоматического регулирования воздушных завес с двумя вентиляторами показана на рис. 8. Температурный датчик 1 включает первый вентиляционный агрегат воздушной завесы при температуре наружного воздуха  $+5...+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , датчик 6 – вторую установку воздушной завесы при более низкой температуре наружного воздуха.

С помощью простейших автоматических устройств можно значительно сократить расходы на эксплуатацию воздушных завес. Благодаря тому, что конечный выключатель соединен с реле 3, в зависимости от температуры наружного воздуха включается один или два вентиляционных агрегата только при открытых воротах.

Дополнительный датчик температур 4 включает один из агрегатов воздушной завесы при температуре, в районе ворот ниже установленной при открытии дополнительных вытяжных отверстий, действии ветра и т. п.

Схему автоматики, изображенную на рис. 8, можно упростить, сняв датчики температур 1 и 6 и конечный выключатель, оставив только один датчик 4, который при падении температуры воздуха в районе ворот ниже установленной последовательно включит первый, а при дальнейшем понижении температуры – второй вентиляционный агрегат.

Системы управления воздушно-тепловыми завесами в зависимости от применяемого теплообменника с водяным, паровым или электрическим обогревом имеют свои особенности и разрабатываются для конкретного теплоносителя.