

## ПРОТИВОРЕЧИВОСТЬ В ОЦЕНКАХ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЗАВЕС

*В. Г. Булыгин, генеральный директор АО «НПО «Тепломаш»*

*Д. В. Голубев, главный инженер АО «НПО «Тепломаш»*

*Ю. Н. Марр, советник генерального директора  
АО «НПО «Тепломаш»*



**ВЛАДИМИР ГРИГОРЬЕВИЧ БУЛЫГИН**  
Кандидат технических наук, генеральный директор АО «НПО «Тепломаш», специалист в области тепломассообмена и прикладной гидроаэродинамики. В 1976 году окончил энергомашиностроительный факультет Ленинградского политехнического института имени М. И. Калинина. В 1982 году защитил кандидатскую диссертацию. С 1976 года по 1990 год работал в ЛенНИИХиммаше на инженерных и научных должностях. С 1993 года работает в АО «НПО «Тепломаш». Автор более 20 научных трудов и 9 изобретений. Разработки В. Г. Булыгина реализованы в продукции АО «НПО «Тепломаш», в частности, в конструкциях и дизайне воздушно-тепловых завес.

В холодное время года нагретые воздушные струи завес около дверей и ворот защищают людей от проникающего в помещение холодного наружного воздуха, понижения температуры в ареале проема, от сквозняков. Этим обеспечиваются комфортные условия присутствия людей в помещении, их труда, сохранение здоровья. В конечном счете защита проемов завесами предотвращает потери от болезней, от снижения производительности труда на производствах и прибыльности торговых и общественных заведений. По логике, данный аспект должен быть главным в оценке эффективности защиты проемов завесами. Однако прямая численная оценка такого подхода затруднительна и практически никогда не применяется.

Существует косвенная оценка — это температура смеси  $t_{см}$  холодного наружного, нагретого в завесе внутреннего и эжектированного внутреннего воздуха. Если температура смеси обеспечивает комфортные условия и здоровье людей, то такую защиту проема можно считать эффективной. В [1] прямо сказано, что «критерием эффективности завес любого типа является температура смеси», а в [2] в качестве эффективности защиты охлаждаемых помещений введена безразмерная температура смеси  $\theta_{см}$ . В СП 60.13330.2020 «Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [3] температура смеси нормирована для помещений различного назначения.

Используют два способа защиты проемов: шиберующий — преимущественно для ворот промышленных зданий и смесительный — для входных дверей зданий жилых и общественного назначения. По механизму защиты это два принципиально разных способа. Шиберующий — динамическое струйное противодействие втеканию через проем

холодных наружных масс с компенсацией теплопотерь нагретыми в завесе струями. Используется также защита ненагретыми струями с компенсацией отдельно расположенными теплогенераторами. Смесительный — отсутствие активного динамического противодействия в проеме с протеканием внутрь наружного воздуха, создание противодействий в виде зигзагообразных проходов, двойных дверей, тамбуров, а также наддува тамбуров, компенсация теплопотерь нагретыми в завесе струями с интенсивным перемешиванием ими воздушной смеси.

Различие механизмов обеспечения требуемой или нормированной температуры смеси порождает противоречивость в вопросах оценки эффективности защиты проемов завесами.

1. Наряду с очевидностью приоритетов комфорта и сохранения здоровья пользователей в большей степени интересует навязываемое фирмами-производителями представление об эффективности завес как о **снижении теплопотерь** через открытые проемы, т. е. об **относительном**

уменьшении энергетических затрат при защите проема завесой в сравнении с незащищенным проемом [4, 5]. Такая же оценка принята в справочнике ASHRAE [2]. Она имеет вид

$$\begin{aligned} \varepsilon &= [Q_1 - (Q_2 + Q_3)]/Q_1 = \\ &= 1 - (Q_2 + Q_3)/Q_1, \quad (1) \end{aligned}$$

где  $Q_1$  — тепловая мощность мгновенных теплопотерь через открытый проем при отсутствии завесы, которые пользователь должен был бы компенсировать,  $Q_2$  — тепловая мощность мгновенных теплопотерь через открытый проем при работающей завесе (их тоже необходимо компенсировать),  $Q_3$  — тепловая мощность завесы (прямые затраты). Если завеса слаба или вовсе не работает ( $Q_3 = 0$ ), то  $Q_2 = Q_1$  и  $\varepsilon = 0$ , т. е. пользователь должен компенсировать теплопотери в полном объеме (здесь и далее речь идет о синхронной с теплопотерями компенсации). Условность выражения (1) состоит в том, что если завеса есть и работает, но  $Q_2 + Q_3 = Q_1$ , как это всегда происходит при защите смешанного типа, то снова  $\varepsilon = 0$  и полная компенсация теплопотерь в размере  $(Q_2 + Q_3)$  неизбежна.

Абсурдность оценки (1) следует из сопоставления ситуации, когда открытый проем защищен завесой, с ситуацией, когда проем не защищен, как если бы эффективность теплозащиты воротами оценивалась ситуацией с отсутствием ворот в проеме (или стеклопакетов в оконном проеме). К сожалению,

не все пользователи отдадут себе отчет, что шиберующая завеса — это такая же защита помещения от теплопотерь, как и ограждение здания, только динамическая, требующая затрат энергии в силу своей специфики. Отказаться от ограждения нельзя, а от завесы как бы можно, или хотя бы уменьшить ее мощность и затраты на нее. При этом мало кого заботит мысль о необходимости восстановления внутренней температуры помещения после того, как ворота закрыты и завеса прекратила потреблять энергию. Но пункт 7.8.6 СП 60.13330.2020 [3] гласит: **«Если расчетная температура смеси воздуха, поступающего в помещение через проем, меньше расчетной температуры воздуха в помещении, следует учитывать дополнительную тепловую нагрузку на подогрев поступающего воздуха»**. А это как раз и есть величина  $Q_2$  в выражении (1). Поэтому, ослабив и удешевив защиту проема, пользователю придется компенсировать полученную им за это выгоду.

На практике пользователь может уменьшить тепловую мощность  $Q_2$ , растянув во времени процесс компенсации. Однако это обманчивое повышение эффекта, поскольку пользователь платит за суммарное количество израсходованной энергии того или иного вида. В выражении (1) можно заменить тепловые мощности на расходы энергии независимо от того, была ли проделана синхронная компенсация теплопотерь



**ДАНИИЛ ВЛАДИМИРОВИЧ ГОЛУБЕВ**  
 Главный инженер АО «НПО «Тепломаш». С 2001 года работал на НПО «Тепломаш» слесарем-сборщиком, начальником испытательной лаборатории. В 2016 году окончил Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. Автор шести изобретений.

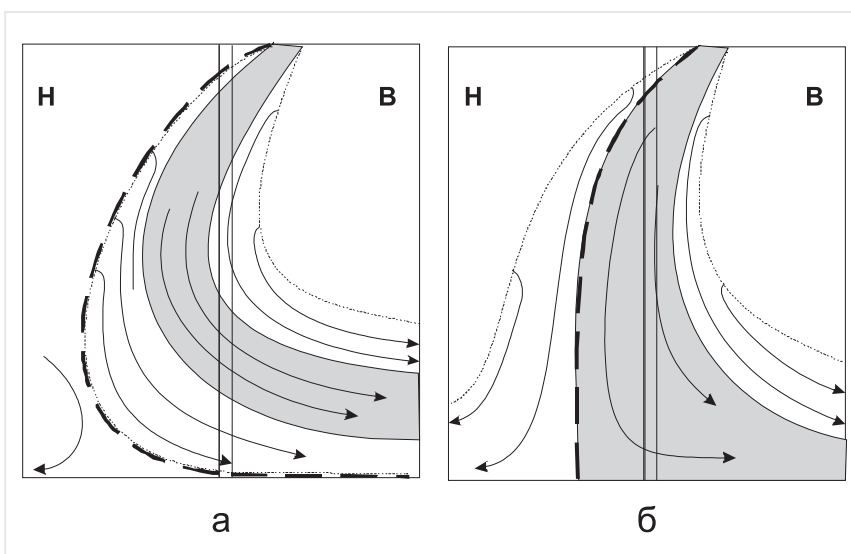


Рис. 1. Схемы шиберующей защиты проема верхней завесой:  
 а — предельный режим  $q = q^*$ ; б — полная защита  $q = 1$



**ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ МАРР**  
 Кандидат технических наук,  
 старший научный сотрудник,  
 советник генерального  
 директора АО «НПО «Тепломаш»  
 по научно-техническим вопросам,  
 специалист в области теплообмена  
 и прикладной гидроаэродинамики.  
 В 1963 году окончил  
 энергомашиностроительный  
 факультет Ленинградского  
 политехнического института  
 имени М. И. Калинина.  
 В 1969 году защитил кандидатскую  
 диссертацию. С 1963 по 1990 год  
 работал в ЛенНИИХиммаше  
 на научных должностях.  
 С 1999 года работает  
 в АО «НПО «Тепломаш». Автор более  
 чем 60 научных трудов, в том  
 числе 2 книг и 26 изобретений.  
 Разработки Ю. Н. Марра последних  
 лет реализованы в продукции  
 АО «НПО «Тепломаш».

с высокой мощностью  $Q_2$  или компенсация была растянута во времени. При этом смысл оценки по (1) не изменится.

Область применения оценки (1) ограничена защитой шиберующего типа, поскольку для защиты смесительного типа выражение (1) непригодно по существу: в отсутствие шибирования, как было сказано,  $Q_2 + Q_3 = Q_1$  и  $\Xi = 0$ .

При полной аэродинамической защите проема шиберующей завесой (когда показатель защиты  $q = 1$ , см. рис. 16) эффективность достигает высоких значений  $\Xi = 0,80 - 0,88$  [4]. И это неудивительно: устремление  $\Xi \rightarrow 1$  связано не с относительной малостью затрат ( $Q_2 + Q_3$ ), а с весьма значительной величиной  $Q_1$  теплотеря от беспрепятственно затекающего в проем холодного наружного воздуха. И это еще раз показывает, насколько шиберующая защита относительно менее энергозатратна, чем смесительная. Тем не менее ее использование во входных дверях общественных зданий невозможно из-за ограничений в скорости и температуре струй, воздействующих на людей [3].

Доводя до логического завершения бессмысленность параметра  $\Xi$ , заметим, что если бы какой-либо пользователь попытался оценить «эффективность» защиты ограждений здания посредством (1), то он получил бы результат с бесконечным рядом девяток после запятой. С другой стороны, рассудительный пользователь, не желая тратить на завесу, что-нибудь придумал бы (тамбур, «лапшу», докшелтеры) и обеспечил  $0 < \Xi < 1$  (при  $Q_3 = 0$ , но  $Q_2 < Q_1$ ). Вот с такой «ненулевой» ситуацией и надо бы сравнивать экономию энергетических затрат на установку и использование завесы. Однако это тоже приводит к неопределенности.

Учитывая, тем не менее, распространенность оценки (1), можно использовать ее (или ее составляющие) для сопоставления вариантов, технико-экономического обоснования, расчета срока окупаемости завесы.

2. Информация, которую несет выражение (1), принципиально отличается от той, которая принята в системе энергетических оценок технических объектов и которая опирается на привычное всем представление о коэффициенте полезного действия (КПД). Оценка

типа (1) — результат применения объекта (завесы как инженерного сооружения) в некоей системе (эксплуатационно-энергетической деятельности предприятия), здесь главное — сколько за это платить, а качество самого объекта вторично.

Смысл КПД состоит в выведении на первый план собственно объекта путем сопоставления требуемого от него результата с реальностью (классическая аналогия — мощность на валу машины и мощность привода). В [4] со ссылкой на [2] было введено представление о термическом КПД защиты проема, численно равном безразмерной температуре смеси

$$\eta_t = \theta_{cm} = (t_{cm} - t_1)/(t_2 - t_1). \quad (2)$$

При  $t_{cm} \rightarrow t_1$   $\eta_t \rightarrow 0$ , при  $t_{cm} \rightarrow t_2$   $\eta_t \rightarrow 1$ . Здесь  $t_1$  — наружная температура,  $t_2$  — внутренняя температура. Исходя из теплового баланса, температура смеси есть результат всех тепловых поступлений и потерь. Поэтому выражение (2) — это отношение мер реальной тепловой мощности завесы, обеспечивающей достижение смесью температуры  $t_{cm}$ , к такой идеальной мощности, которая может быть интерпретирована как **целевая установка приближения к внутренней температуре при защите проема ( $t_{cm} \rightarrow t_2$ )** [4]. Здесь неслучайно использован термин «мера» тепловой мощности, поскольку (2) соотносит не сами мощности, а их масштабы. Как видно, даже по формальным признакам выражение (2) не имеет отношения к КПД. Оно является соотношением масштабов защиты и становится скорее **оценкой полноты реализации тепловой защиты проема** (будем называть его далее термическим коэффициентом  $\eta_t$ ).

Можно показать [5], что, например, для шиберующей защиты ворот верхней завесой термический коэффициент равен

$$\eta_t = \theta_{cm} = [(1 - \bar{Q}_{пот})/\theta_2 + 0,5(\lambda - 1)] \times [1/q + 0,5(\lambda - 1)]^{-1}, \quad (3)$$

где  $\lambda$  — коэффициент эжекции;  $q = G_3/(G_3 + G_H)$  — показатель работы завесы;  $\theta_2 = (t_2 - t_1)/(t_3 - t_1) \leq 1$  — параметр, характеризующий подогрев струи в завесе до  $t_3$ ;  $\bar{Q}_{пот}$  — относительные потери тепла струей завесы при ее контакте

с наружными массами и уходом части эжектированных снаружи масс обратно на улицу. Из (3) видно, что термический коэффициент, помимо тепловых потерь, зависит от степени аэродинамической защиты (параметра  $q$ ) и величины подогрева струи  $1/\theta_2$ . При неизменной аэродинамической защите ( $q = \text{const}$ ) термический коэффициент растет вместе с подогревом струи. При неизменном подогреве струи ( $1/\theta_2 = \text{const}$ )  $\eta_t$  также растет вместе с усилением аэродинамической защиты (ростом  $q$ ). С ростом  $q$  растут и тепловые потери  $\bar{Q}_{\text{пот}}$ , однако они лишь несколько ослабляют обозначенную тенденцию.

Таким образом, **термический коэффициент полностью отражает оба воздействия, направленные на обеспечение целевой установки приближения к внутренней температуре, и поэтому может считаться мерой эффективности защиты проема в понимании эффективности как полноты реализации тепловой защиты и соответствия приоритетам комфорта и сохранения здоровья.**

3. Установим связь энергетических затрат пользователя на защиту проема с термическим коэффициентом. Тепловая мощность завесы равна

$$Q_3 = C_p G_3 (t_3 - t_2) = C_p G_3 (t_2 - t_1) \times (1/\theta_2 - 1). \quad (4)$$

Дополняющая компенсация теплотеря при работающей завесе

$$Q_2 = C_p G_{\text{см}} (t_2 - t_{\text{см}}) = C_p G_3 (t_2 - t_1) \times [1/q + 0,5(\lambda - 1)](1 - \theta_{\text{см}}). \quad (5)$$

Из выражений (3)–(5) после преобразований можно получить полные затраты пользователя  $Q_{\text{польз}} = Q_3 + Q_2$  в виде

$$Q_{\Sigma} = [1/q + 0,5(\lambda - 1)] [1 - \bar{Q}_{\text{пот}} \times (1 - \theta_{\text{см}})] / (1 - \bar{Q}_{\text{пот}}) - 0,5(\lambda - 1) / (1 - \bar{Q}_{\text{пот}}) - 1, \quad (6)$$

где  $Q_{\Sigma} = Q_{\text{польз}} / C_p G_3 (t_2 - t_1)$  — безразмерные относительные суммарные затраты.

Если рассматривать затраты пользователя как функцию фиксированной величины температуры смеси  $\theta_{\text{см}}$ , то из выражения (3) следует, что вариация аэродинамической защиты (параметра  $q$ ) и теплового воздействия (подогрева

струи  $1/\theta_2$ ) перестают быть независимыми. Их возможная вариация определится выражением (3), преобразованным к виду

$$1/\theta_2 = [\theta_{\text{см}}/q - 0,5(\lambda - 1) \times (1 - \theta_{\text{см}})] / (1 - \bar{Q}_{\text{пот}}). \quad (3-1)$$

Для наглядности рассмотрим поведение  $Q_{\Sigma}$  по (6) в двух характерных крайних ситуациях. Во-первых, при максимально требуемом нагреве струи, обеспечивающем выполнение условия  $\theta_{\text{см}} = 1$ . При этом имеем из (3-1) выражение требуемого максимального подогрева в зависимости от степени аэродинамической защиты

$$(1/\theta_2)_{\text{max}} = 1/(1 - \bar{Q}_{\text{пот}})q. \quad (3-2)$$

Чем выше показатель защиты  $q$ , тем меньше требуемый подогрев струи, и при полной аэродинамической защите ( $q = 1$ , рис. 1б) (3-2) убывает до величины

$$(1/\theta_2)_{\text{max}} = (1/\theta_2)_{(q=1)} = 1/(1 - \bar{Q}_{\text{пот}}). \quad (7)$$

Максимальное ослабление защиты (предельный режим  $q = q^*$ ,  $\bar{Q}_{\text{пот}} = 0$ , рис. 1а) изменяет (3-2) до уровня

$$(1/\theta_2)_{\text{max}} = (1/\theta_2)_{q^*} = 1/q^*, \quad (8)$$

который в частном случае может оказаться сопоставимым с (7).

Аналогично для затрат пользователя (6) получим при  $\theta_{\text{см}} = 1$  с учетом (3-2)

$$Q_{\Sigma(\theta_{\text{см}}=1)} = 1/q(1 - \bar{Q}_{\text{пот}}) - 1 = (1/\theta_2)_{\text{max}} - 1. \quad (9)$$

В соответствии с (7) и (8) при полной аэродинамической защите затраты будут убывать, при ослаблении защиты затраты возрастают (в частном случае незначительно).

Другая крайняя ситуация — это безнагревная завеса ( $\theta_2 = 1$ ,  $Q_3 = 0$ ). В безнагревной завесе температура смеси определяется аэродинамической защитой (величиной  $q$ ), поэтому из (3-1) для этой ситуации следует

$$\theta_{\text{см}} = [(1 - \bar{Q}_{\text{пот}}) + 0,5(\lambda - 1)] / [1/q + 0,5(\lambda - 1)]. \quad (10)$$

После подстановки (10) в (6) и преобразований получим

$$Q_{\Sigma(\theta_2=1)} = 1/q - (1 - \bar{Q}_{\text{пот}}). \quad (11)$$



# С НАМИ КОМФОРТНО

## КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

- Вентиляционное оборудование
- Кондиционеры
- Чиллеры и фанкойлы
- Увлажнители воздуха
- Осушители воздуха
- Системы автоматики



 **АРКТИКА**  
СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ, ОТОПЛЕНИЯ  
И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Москва, улица Тимирязевская, 1, строение 4.

Тел.: (495) 981 1515, (499) 755 1515.

Факс: (495) 981 0117.

Санкт-Петербург, улица Разъезжая, 12, офис 43.

Тел.: (812) 441 3530. Факс: (812) 441 3535.

www.ARKTIKA.ru

Затраты пользователя по (11) при защите холодной завесой, определяемые дополнительными компенсационными затратами тепла через теплогенераторы ( $Q_2$ ), в условиях полной аэродинамической защиты ( $q = 1$ ) становятся равными относительным потерям тепла

$$Q_{\Sigma} (\theta_2 = 1) = \bar{Q}_{\text{пот}(q=1)} \cdot (11-1)$$

Ослабление аэродинамической защиты до предельного режима ( $q = q^*$ ,  $\bar{Q}_{\text{пот}} = 0$ ) повышает затраты пользователя до величины

$$Q_{\Sigma} (\theta_2 = 1) = 1/q^* - 1. (12)$$

Полученные результаты сведены в табл. 1.

Сравнивая рассмотренные крайние ситуации, представленные в табл.1, получаем, что в предельном режиме аэродинамической защиты — равенства (8), (9) и (12) — затраты пользователя одинаковы. Напротив, в режиме полной аэродинамической защиты — равенства (7), (9) и (11) — затраты пользователя с безнагревной завесой меньше, чем с завесой, обеспечивающей  $\theta_{\text{см}} = 1$ . И, наконец, режим полной защиты с безнагревной завесой экономичнее режимов предельной защиты (здесь ориентировочно приняты характерные значения  $\bar{Q}_{\text{пот}} = 0,4-0,5$  при  $q = 1$ ,  $q^* = 0,3-0,5$ ).

Полученный результат вполне ожидаем, поскольку речь идет об известной раздельной тепловой и аэродинамической защите

Таблица 1. Относительные энергетические затраты пользователя  $Q_{\Sigma}$

Предельные тепловые режимы	Режим аэродинамической защиты	
	полный $q = 1$	предельный $q = q^*$
Нагревание завесой $\theta_{\text{см}} = 1$	$Q_{\Sigma} = \bar{Q}_{\text{пот}} / (1 - \bar{Q}_{\text{пот}})$	$Q_{\Sigma} = 1/q^* - 1$
Безнагревная завеса $\theta_2 = 1$	$Q_{\Sigma} = \bar{Q}_{\text{пот}}$	$Q_{\Sigma} = 1/q^* - 1$

проема. В [4, 5] показано, что при полной аэродинамической защите проема ( $q = 1$ ) энергетические затраты пользователя могут быть вдвое меньше в варианте защиты холодной завесой с компенсацией теплопотерь теплогенераторами в сравнении с вариантом максимально подогревающей завесы без компенсирующих теплогенераторов. Там же показано, что разница в энергозатратах исчезает в предельном режиме аэродинамической защиты (вся струя завесы полностью затекает в проем).

Следует иметь в виду, что по [3] и при защите безнагревными завесами (т. е. с низким термическим коэффициентом  $\eta_t = \theta_{\text{см}}$ ) окончательная температура смеси должна быть доведена до расчетной внутренней. Поэтому формально по итогу варианты с  $\theta_{\text{см}} = 1$  и  $\theta_2 = 1$  не отличаются друг от друга. Однако вариант с  $\theta_{\text{см}} = 1$  реализуется непосредственно в ареале проема, а вариант с  $\theta_2 = 1$ , в зависимости от многих привходящих обстоятельств, может оказаться реализованным на достаточном удалении от проема.

Полная защита проемов холодными завесами с компенсацией теплопотерь теплогенераторами, направляющими нагретые воздушные струи за пределы зоны взаимодействия струй завесы с наружными массами, использовалась, например, для защиты проемов больших размеров [6].

Таким образом, **энергетические затраты пользователя возрастают с ростом термического коэффициента.** Иными словами, повышение эффективности непосредственной защиты проема завесами, отражаемое ростом термического коэффициента  $\eta_t$ , возможно лишь ценой увеличения энергетических затрат пользователя и, соответственно, снижения величины энергосбережения Э по (1). Напротив, переход к безнагревной завесе, но с полной аэродинамической защитой и компенсацией через теплогенераторы повышает энергосбережение. Исходя из этого, можно считать, что **применительно к завесам термический коэффициент при всей полноте отражения физических воздействий привносит определенную противоречивость в общее представление об эффективности защиты проема.**

4. Оценка по термическому коэффициенту (2) свидетельствует о несовместимости затратного (энергетического) и обеспечивающего комфортные условия подходов к вопросам эффективности шиберающей защиты проема. Несовместимость этих подходов — естественное порождение общей строительной проблемы снижения теплопотерь через ограждения. Поскольку в самом ограждении здания пользователь не затрачивает энергии на теплозащиту, то применительно к выражению (1) составляющая  $Q_3 = 0$ . Составляющая  $Q_2$  — компенсация теплопотерь теплопроводностью через ограждения, равная тепловой мощности отопления. Составляющая  $Q_1$  в данном случае

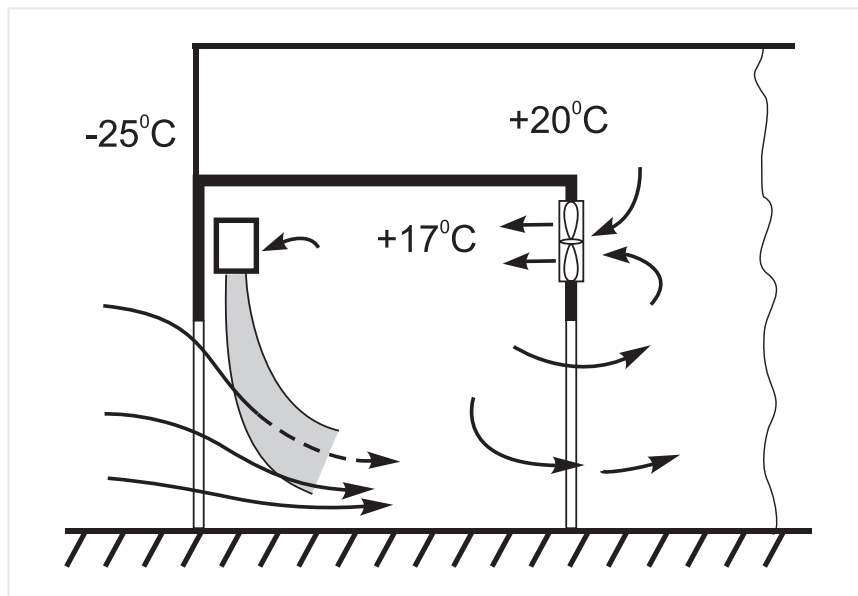


Рис. 2. Схема защиты дверей смесительной завесой с наддувом тамбура

вообще не имеет смысла и выпадает из (1). Поэтому затраты пользователя состоят из капитальных вложений на ограждение и эксплуатационных затрат на отопление. Чем совершеннее все элементы ограждения здания, тем комфортнее будет людям, находящимся в здании и тем меньше будут энергетические затраты пользователя, но тем значительнее будут капитальные затраты на ограждение. Попытка дать оценку объекту только по приоритету комфортности или только по приоритету затрат на отопление обнаруживает их несовместимость и переводит анализ в область комплексного рассмотрения приведенных затрат.

В случае защиты проема, как уже было сказано, защита имеет динамический характер и требует энергетических затрат (помимо капитальных затрат на сами завесы и на инженерное сооружение). Это делает бесперспективным совмещение оценок эффективности защиты проема по (1) и по (2).

5. Наиболее непростой вопрос — это оценка эффективности завес смесительного типа. Еще в [7] было сформулировано, что эффективность защиты смесительного типа проявляется как результат интенсивного струйного перемешивания воздушных масс для минимизации тепловой мощности на подготовку воздуха, подаваемого в помещение. К сожалению, этому качественному соображению невозможно придать форму количественной оценки. Оценка посредством термического коэффициента (2) неинформативна. А использование выражения (1) бессмысленно, поскольку затраты пользователя определяются только расходом втекающего наружного воздуха, который необходимо подогреть сначала до температуры  $t_{см}$ , а в конечном счете до температуры  $t_2$

$$Q_{польз} = Q_3 + Q_2 = C_p G_n (t_2 - t_1). \quad (15)$$

Понятно, что в этом случае по (1)  $Q_1 = Q_{польз} = Q_3 + Q_2$  и  $\Xi = 0$ .

В [4] была введена оценка эффективности смесительных завес в виде теплового КПД, в числителе которого стоит условно минимизированная тепловая мощность при наличии идеализированной аэродинамической защиты,

а в знаменателе реальная тепловая мощность оцениваемой ситуации

$$\eta_{смес} = Q_{ид} / Q_{смес}. \quad (16)$$

В качестве идеализированной принята защита герметичного помещения с таким же проемом, которую можно интерпретировать как ситуацию с наддувом условного тамбура (см. рис. 2), описанную в [7] и минимизирующую втеkanie наружного воздуха и вытеkanie внутреннею. Соответственно, теплопотери  $Q_{ид}$  также станут минимальными. По аналогии с термическим коэффициентом  $\eta_t$  можно говорить о том, что параметр  $\eta_{смес}$  не является коэффициентом полезного действия в классическом понимании. Это коэффициент эффективности смесительной защиты. В [4] показано, что величины  $\eta_{смес}$  для продуваемых зданий равны:

$$\begin{aligned} \eta_{смес} \text{ (1 этаж)} &= 0,21, \\ \eta_{смес} \text{ (3 этажа)} &= 0,11, \\ \eta_{смес} \text{ (5 этажей)} &= 0,094. \end{aligned}$$

С ростом этажности здания коэффициент  $\eta_{смес}$  убывает. Малая величина коэффициента  $\eta_{смес}$  объясняется очень низким уровнем теплопотерь через двери герметичного помещения (или тамбура с наддувом) в сравнении с потерями через двери продуваемого помещения, особенно с большим числом этажей. При защите помещения герметичного типа  $\eta_{смес} = 1$ . В случаях «мягкого» шибирования втекающего потока, описанных в [5], коэффициент расхода  $\mu_{пр}$  проема снижается против принятых табличных значений, что повышает эффективность такой защиты.

6. В отличие от шиберующей защиты энергетические затраты пользователя при смесительной защите проема тем ниже, чем более затруднена продуваемость, т. е. чем выше коэффициент эффективности  $\eta_{смес}$ . Это возвращает нас к первоначальному тезису о принципиальной разнице в устройстве шиберующей и смесительной защит проемов.

Смесительная защита — перемешивающие струи — это способ защиты, повторим, защищаемого ограждения, продуваемого здания, наконец инфильтрации. Фактически это рециркуляционный способ поддержания температуры внутренней атмосферы, охлаждаемой проникающим наружным воздухом. Энергетические затраты

## Модули управления Light ACM-S2

**Для приточных систем с водяным калорифером являются дополнением стандартной серии модулей ACM.**

### Особенности:

- выполнены на базе контроллера и комплектующих российского производства;
- компактный пластиковый корпус IP65 (410 x 300 x 142 мм);
- универсальное подключение вентилятора 230 В или 400 В;
- индикация состояния и выбор режимов управления на дисплее контроллера;
- оптимизированы цепи защиты оборудования от перегрузки и короткого замыкания;
- совместная работа с внешними регуляторами скорости и частотными преобразователями;
- значительно снижена стоимость;
- срок гарантии — два года;
- в наличии на складе.

*Модули управления серии Light выполняют следующие функции:*

- 1) регулирование температуры приточного воздуха;
- 2) управление приводом воздушной заслонки;
- 3) защита водяного калорифера от замораживания по температуре воздуха и обратной воды;
- 4) контроль состояния приточного вентилятора;
- 5) контроль загрязнения воздушного фильтра;
- 6) отключение приточной системы при возникновении аварийных ситуаций;
- 7) отключение приточной системы по сигналам системы пожарной сигнализации;
- 8) ручной переход на летний режим работы;
- 9) возможность подключения пульта дистанционного управления;
- 10) поддержка протокола Modbus RTU.

Если у вас есть вопросы, нужна помощь или консультация, пожалуйста, напишите нам [arktika@spb-arktika.ru](mailto:arktika@spb-arktika.ru) или позвоните по телефону +7 (812) 441-35-30. Будем рады вам!



## Завод «Арктос» представляет новое изделие: воздухораздающие блоки для «чистых помещений» 4ВБ и 5ВБ

Новые воздухораздающие блоки для «чистых помещений» 4ВБ и 5ВБ рассчитаны на установку воздушного фильтра абсолютной очистки (ФВА) с классом высокой эффективности H14, имеющего паз с гелевым уплотнением для обеспечения максимальной герметизации в местах стыковки его с коробом ВБ.

При полной установке ФВА в корпус ВБ происходит вдавливание «рамки-ножа» в гелевый наполнитель по всему периметру фильтра, исключая прохождение воздуха с частицами пыли без фильтрации.

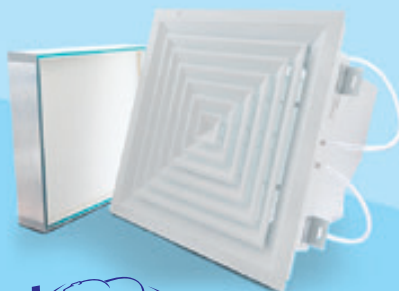
Блок может быть с боковым или торцевым подводом, а подводящий патрубок — круглого или прямоугольного сечения. Также ВБ может быть оборудован дополнительно либо регулирующим, либо герметичным клапаном. Герметичный клапан может оснащаться электроприводом.

Для контроля загрязнения фильтра на корпусе предусмотрены выходы, заглушенные под устройство контроля давления до и после фильтра и кронштейн для установки дифференциального реле давления.

Для проверки герметичности фильтра в ВБ могут быть установлены порты DOP-теста.

Дополнительно ВБ могут быть изготовлены под потолочную систему CLIP-IN, предназначенную для решения задач по устройству потолков в «чистых помещениях», с целью обеспечения герметичности контура ограждающих конструкций с ровной и гладкой поверхностью, обработки моющими и дезинфицирующими средствами.

По вопросам приобретения нашей продукции вы можете обратиться к официальному дистрибьютору — компании «Арктика»: +7 (495) 981-15-15, [www.arktika.ru](http://www.arktika.ru), +7 (812) 441-35-30, [www.spb-arktika.ru](http://www.spb-arktika.ru), [www.arktoscomfort.ru](http://www.arktoscomfort.ru)



на это тем меньше, чем выше эффективность нединамического противодействия затеканию наружного воздуха (тамбуры, зигзаги, противодавление), т. е. чем выше капитальные вложения в организацию противодействия.

Шиберующие струи — это динамический аналог статического стандартного ограждения, особенно в режимах, приближающихся к полной защите. Энергетические затраты здесь идут, во-первых, на компенсацию вносимого проникающими наружными струями холода (при  $q < 1$ ). Эта часть компенсации будет вести себя как в смесительной защите: убывать с усилением эффективности противодействия втеканью. Во-вторых, энергетические затраты требуются на компенсацию теплотерь через защитную струю ( $\dot{Q}_{\text{пот}}$ ) аналогично теплотерям через обычное ограждение здания. Эта часть будет увеличиваться вместе с повышением эффективности защиты, правда, тем слабее, чем ближе защита к холодному режиму. В целом все действия, направленные на сохранение тепла за ограждением (компенсация нагретыми струями или отдельно теплогенераторами), приводят к росту энергозатрат и удорожанию.

В режимах предельной защиты (или, более того, нарушения защиты) теплотери собственно струи формально отсутствуют. Но аэродинамическая картина в проеме приближается к защите смесительного характера, привнесение внутрь наружных масс нарастает, и энергетические затраты также растут. Неслучайно показатель Э в (1) имеет высокие значения именно в режиме полной защиты и устремляется к нулю при переходе к режимам с отсутствием противодействия втекающему наружному потоку.

Таким образом, принципиальная разница между защитами шиберующего и смесительного типов обуславливает противоречание друг другу закономерности в зависимостях эффективности защиты и энергетических затрат пользователя.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. К оценкам эффективности защиты проемов шиберующими и смесительными завесами следует подходить с учетом специфики воздействия струй на наружные массы воздуха.

2. Противоречивость в оценках шиберующей защиты по тепловой (термической) эффективности и по энергетическому показателю должна разрешаться либо выбором приоритета оценки (комфорт, здоровье людей или собственные энергозатраты), в том числе комплексным анализом приведенных затрат на организацию защиты проема.

3. Значительным ресурсом энергосбережения при шиберующей защите проема является раздельная аэродинамическая и тепловая защита: сочетание безнагревных завес, работающих в режиме полной защиты ( $q = 1$ ), и компенсирующих теплогенераторов.

4. В более затратном смесительном способе защиты противоречивость в тепловой и затратной (по капитальным вложениям) оценках отсутствует: чем больше капитальные вложения, тем выше эффективность защиты, т. е. тем меньше энергетические затраты на компенсацию теплотерь.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гримитлин А. М., Дацюк Т. А., Крупкин Д. Я., Стронгин А. С., Шилькрот Е. О. Отопление и вентиляция производственных помещений. Издательство «АВОК Северо-Запад». СПб. 2007. — 400 с.
2. Стронгин А. С. Расчетные параметры и эффективность применения воздушных завес у ворот охлаждаемых помещений // Инженерные системы. АВОК Северо-Запад. № 2. 2019.
3. СП 60.13330.2020. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. СНиП 41-01-2003".
4. Марр Ю. Н. Об эффективности воздушно-тепловых завес // Инженерные системы. АВОК Северо-Запад. № 4. 2019. С. 6–11.
5. Марр Ю. Н. Воздушно-тепловые завесы. Расчет и проектирование завес для защиты проемов промышленных и общественных зданий. — СПб: АО «НПО «Тепломаш», 2017. — 160 с.
6. Булыгин В. Г., Марр Ю. Н. Защита завесами проемов больших размеров. Проблемы и решения. Часть вторая // Инженерные системы. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2016, № 3. С. 18–22.
7. Марр Ю. Н. О завесах смесительного типа // Инженерные системы. АВОК Северо-Запад. № 1. 2012.