

УДК 628.889/533

Аэро- и термодинамические процессы в проемах, оборудованных тепловыми завесами

Д-р техн. наук А. Ю. ГРИГОРЬЕВ, И. А. РУБЦОВ

*Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

Worldwide standards of air quality requirements in spaces for various purposes are steadily growing. Ever-growing level of such requirements is proved by the fact that the list of spaces, where optimal air quality parameters are to be maintained by air conditioning systems, annually proliferates. Accordingly power consumption to maintain these parameters is increasing. Open doorways, window openings, and other embrasures result in substantial heat losses and become the main reason of drafts in spaces. Air-thermal curtains (ATC) allow therewith solving some problems that are connected with microclimate maintenance and power intensity of a building as a whole.

Key words: air quality parameters, microclimate maintenance, aero- and thermodynamic processes, air thermal curtains, mathematical models.

Ключевые слова: параметры воздушной среды, поддержание микроклимата, аэро- и термодинамические процессы, воздушно-тепловые завесы, математические модели.

Во всем мире непрерывно повышается уровень требований к параметрам воздушной среды в помещениях различного назначения. Показателем все возрастающего уровня таких требований служит тот факт, что перечень помещений, в которых должны поддерживаться оптимальные условия воздушной среды с помощью систем кондиционирования воздуха, увеличивается с каждым годом. Соответственно растет и потребление энергии, необходимое для поддержания указанных параметров. Открытые дверные, оконные и другие проемы приводят к значительным потерям тепла и являются основной причиной образования сквозняков в помещении. Воздушно-тепловые завесы (ВТЗ) помогают решить сразу несколько проблем, связанных с поддержанием микроклимата и энергоемкости здания в целом. Они предназначены для разделения зон с различной температурой воздушной среды по разные стороны открытых проемов рабочих окон, входных дверей и ворот. За счет подачи высокоскоростного воздушного потока эти установки образуют своего рода завесу, которая не дает теплу воздуха выходить наружу и не впускает холодный воздух в помещение. При использовании завесы в помещении с открытым проемом улучшается внутренний тепловой комфорт, исчезают сквозняки, значительно снижаются тепловые потери, а следовательно, и затраты на обогрев. Летом в районах с теплым климатом воздушная завеса в равной степени является энергосберегающим оборудованием, которое в значительной мере снижает затраты на кондиционирование помещений и поддержание низкой температуры в холодильных камерах.

Несмотря на эффективность применения ВТЗ и важность проблемы энергосбережения систематических исследований в этой области в последнее время практически не проводилось. Тем не менее существует ряд проблем, например завышение мощности завесы с целью создания необоснованного запаса из-за несовершенства применяемых сегодня методов расчета ВТЗ. Из указанного можно заключить, что разработка современных методик расчета для исследования работы ВТЗ — задача важная и актуальная.

В настоящее время разработка проекта ВТЗ произвольного проема происходит на основе стандартных инже-

нерных методов, базирующихся в основном на различных эмпирических данных, в которых не учитываются и не рассматриваются поля скоростей и температур газа, возникающие в проеме при работе завеса. Это приводит к значительному расхождению результатов, полученных с помощью различных методов, а также к ошибкам при оценке эффективности работы спроектированной завесы, поэтому часто сводится к завышению энергоемкости завесы с целью создания необоснованного запаса ее мощности.

С целью дальнейшей оценки работы ВТЗ для получения полной картины аэро- и термодинамических процессов в проеме можно воспользоваться имеющимися универсальными гидродинамическими компьютерными программами, такими, как Star CD и Fluent. Указанные программы позволяют решать достаточно широкий круг задач, но имеют и ряд недостатков. Желание создателей программ расширить круг решаемых задач усложняет математическую модель и увеличивает время расчета одного варианта. В таких моделях не учитывается специфика работы тепловых завес, например существенно дозвуковой характер течения, с ощутимой неоднородностью плотности воздуха ρ из-за неоднородности его температуры T по пространству проема. Не учитываются также традиционная простота геометрии проема, истечение воздуха из аппарата ВТЗ в виде плоской струи, забор воздуха в аппарат из помещения, в котором установлена тепловая завеса, и др.

Приведенные доводы позволяют сделать вывод, что для перехода от инженерных методов проектирования работы тепловых завес к инновационным компьютерным методам необходимо создание специализированных программ расчета, основанных на математических моделях, опирающихся на фундаментальные положения аэро- и термодинамики и учитывающих особенности работы ВТЗ.

В данной статье математическая модель течения воздуха базируется на уравнениях Рейнольдса турбулентного, нестационарного течения вязкого газа. Замыкают систему уравнений уравнения неразрывности, сохранения энергии, состояния и модели турбулентности [1].

Поставленная нами задача решена с помощью конечно-разностного метода. Программа расчета составлена на алгоритмическом языке Visual Basic.

Ниже приведены результаты расчета полей температур и скоростей течения воздуха в проемах, оборудованных ВТЗ «Мини-3» производства завода «Арктос», для различных значений скорости ветрового напора $V_{\text{в}}$ и угла установки тепловой завесы (угол α между вектором скорости истечения воздуха, выходящего из завесы, и вертикалью). Исходными данными для расчета являются следующие параметры, экспериментально подтвержденные для указанной завесы: средняя скорость истечения воздуха на выходе из завесы — 4,6 м/с, температура воздуха на выходе из завесы — $(313,2 \pm 0,5)$ К при температуре в помещении $(291,0 \pm 1,0)$ К и температуре вне помещения $(271,0 \pm 1,0)$ К. Высота проема $H = 1,2$ м, глубина $L = \pm 1,0$ м.

Существенная разность температур вне и внутри помещения слабо влияет на поле скоростей течения воздуха

(рис. 1, а). Картина течения воздуха практически симметрична относительно сечения проема и определяется струйным истечением воздуха из завесы и Архимедовой силой, возникающей за счет разности температур воздуха. В то же время поле температур в струе воздуха, вышедшего из завесы, на расстоянии $\pm 0,1$ м от этого сечения уже на расстоянии 0,5 м имеет заметную несимметрию, которая постоянно растет при приближении струи к нижней части проема. При повороте завесы внутрь помещения на угол $\alpha = 5^\circ$ (рис. 1, б) эта несимметрия поля температур предсказуемо еще более усиливается. При повороте завесы на угол $\alpha = -5^\circ$ (рис. 1, в) поле температур вблизи струи по высоте всего проема становится более симметричным.

На рис. 2 показано существенное влияние даже небольшого ветрового напора на параметры течения воздуха в проеме, оборудованном завесой.

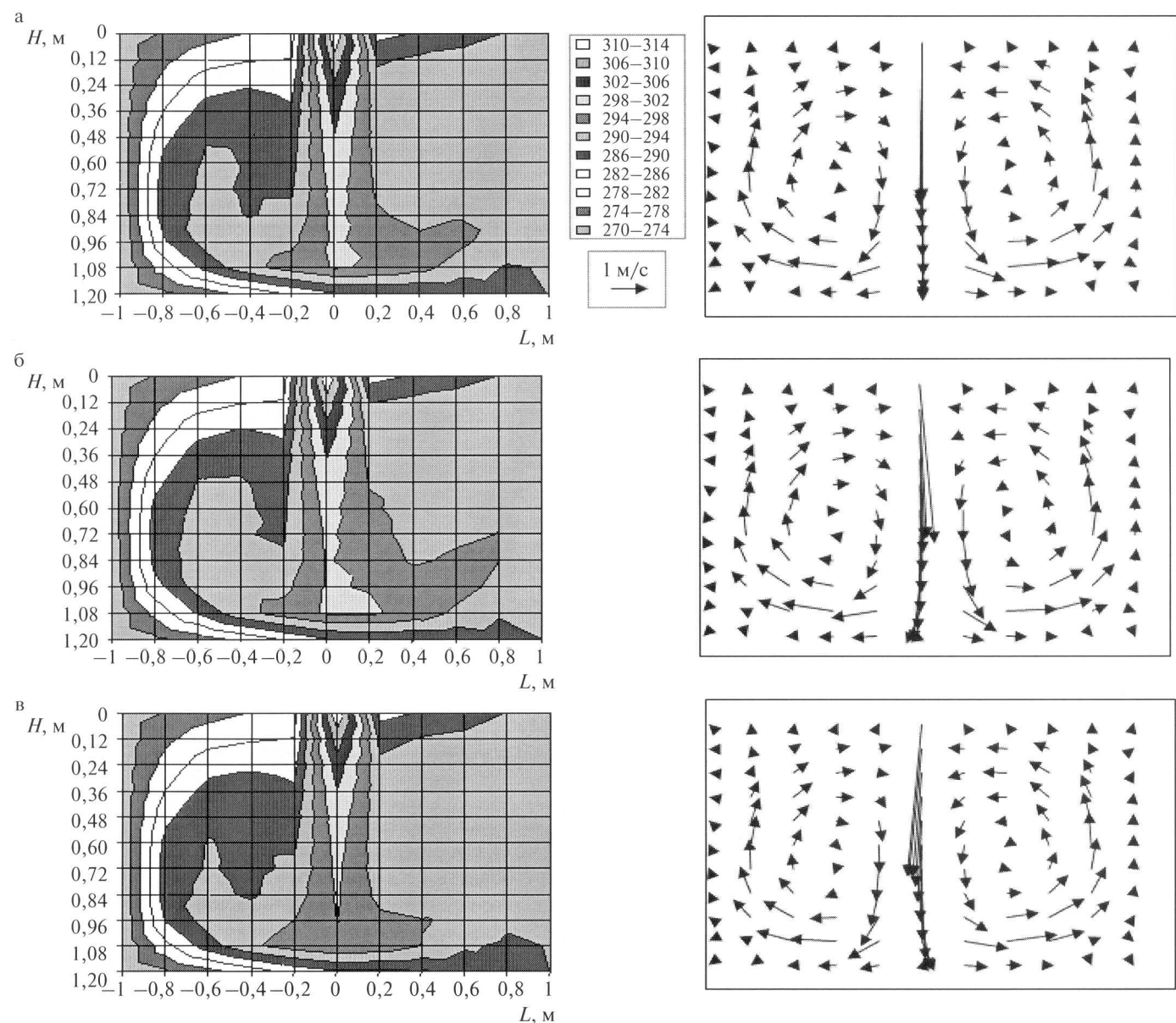


Рис. 1. Варианты расчета полей температур и скоростей течения воздуха без ветрового напора ($V_{\text{в}} = 0,0$ м/с) для различных углов установки: а — $\alpha = 0^\circ$; б — $\alpha = 5^\circ$; в — $\alpha = -5^\circ$

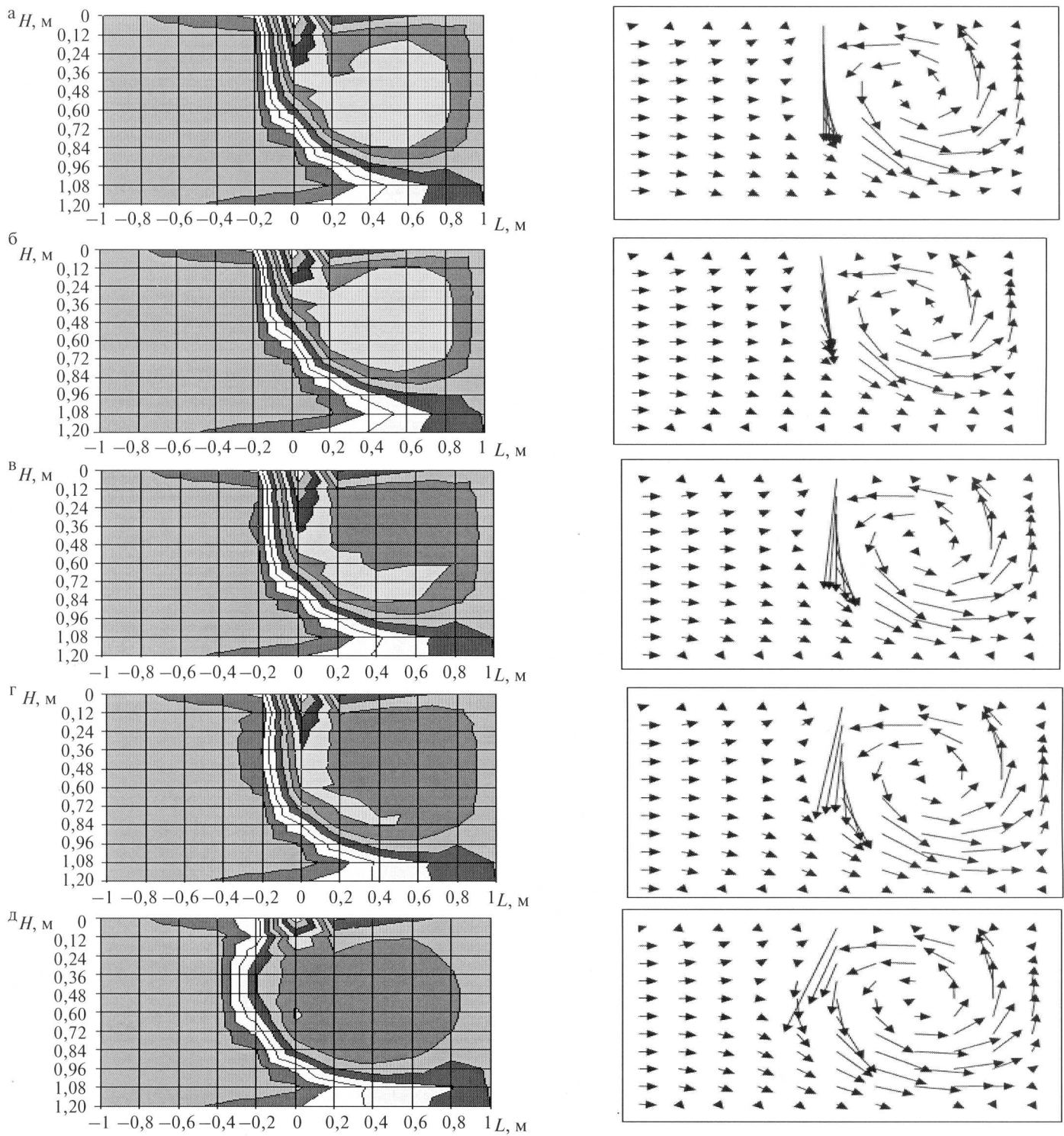


Рис. 2. Варианты расчета полей температур и скоростей течения воздуха с ветровым напором $V_в = 0,7 \text{ м/с}$ для различных углов установки: а — $\alpha = 0^\circ$; б — $\alpha = 5^\circ$; в — $\alpha = -5^\circ$; г — $\alpha = -10^\circ$; д — $\alpha = -20^\circ$

Добавляясь к ранее указанным факторам, ветровой напор приводит к возникновению более активного вихревого вращательного движения воздуха в помещении вблизи проема и ослабляет действие струи, выходящей из завесы, вне помещения, особенно на расстояниях более 0,4 м от сечения проема. Поле температур воздуха также значительно изменяется. Холодный наружный воздух достигает сечения проема в нижней его части даже при угле установки завесы $\alpha = -20^\circ$ (рис. 2, д), но, как видно

из рис. 2, с увеличением угла установки завесы навстречу ветру область сечения проема с температурой, равной температуре наружного воздуха, уменьшается.

Список литературы

1. Григорьев А. Ю., Рубцов И. А. и др. Постановка задачи моделирования аэро- и термодинамических процессов в проемах, оснащенных тепловыми завесами // Известия СПбГУНиПТ. 2008. № 2.