

УДК 533

Термодинамические особенности в проемах при пуске воздушно-тепловых завес*Д-р техн. наук Григорьев А.Ю.* aygrig@list.ru**Рубцов И.А.** 11r@list.ru**Бавеян Х., Воронов Д., Савенко Н., Райков А.***Университет ИТМО**191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

В статье рассмотрены малоизученные термодинамические процессы, происходящие при пуске (пусковом режиме) воздушно-тепловых завес, которые являются важным защитным и энергосберегающим оборудованием для чистых комнат, пищевых цехов, и холодильных складов и камер. Представлены новые важные экспериментальные данные и их сравнение с ранее проведенными расчетами на основе разработанной математической модели. Представлен один из методов проведения эксперимента и особенности проведения эксперимента на реальном проеме с помощью различного современного измерительного оборудования. Данные исследования представляет немалый интерес с точки зрения совершенствования, как конструкции этих изделий точки зрения надежности и энергоэффективности, так и систем контролирующей и регулирующей автоматики самого агрегата и систем автоматизации объекта, где установлена завеса.

Ключевые слова: энергосбережение, проектирование чистых комнат, проектирование пищевых предприятий, проектирование холодильных камер, воздушные завесы, тепловая защита открытых дверных проемов, воздухораспределение.

Thermodynamics features in the openings at start-up air curtains*D.Sc. Grigoriev Alexander Y.* aygrig@list.ru,**Rubtsov I.A.** 11r@list.ru,**Baveyan H., Voronov D., Savenko N., Raikov A.***ITMO University**191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9*

The article deals with lesser known thermodynamic processes occurring during start-up air curtains, which are an important protective and energy-saving equipment for clean rooms, food workshops, and refrigerated warehouses. Presents important new experimental data and comparing them with previously performed calculations on the basis of the developed mathematical model. Presents one of the methods of experimentation and features of the experiment on a real opening using a variety of modern measuring equipment. The survey data is of great interest from the viewpoint of improvement, as the design of these products in terms of reliability and energy efficiency, and system controls and regulates the automation of assembly and automation systems object where you installed the veil.

Keywords: energy saving, clean room design, design of food facility, designing cold rooms, air curtains, thermal protection open doorways, air distribution.

В соответствии с требованиями строительных норм, если по технологическим или санитарно-гигиеническим требованиям понижение нормируемой температуры воздуха, его влажности и др. параметров в помещении недопустимо, то у проемов в наружных ограждениях следует предусматривать устройство воздушно – тепловых завес (ВТЗ) при любых расчетных зимних наружных условиях независимо от продолжительности открывания проемов. Кроме этого ВТЗ решают задачу сокращения проникновения пыли и летающих насекомых через проем. В связи с чем, воздушно – тепловые завесы широко применяются в цехах предприятиях пищевой, легкой, фармацевтической и других отраслях промышленности. Данное оборудование необходимо для организации санитарных, чистых и особочистых комнат и объемов с разделением воздушной среды на предприятиях пищевой и фармацевтической промышленности. Желательно так же устанавливать данное оборудование на холодильных складах и камерах с целью уменьшения потерь холода при разгрузочных работах. Повышение стоимости энергии потребляемой инженерными системами зданий и рост требований к воздушно-тепловым режимов помещений приводит к необходимости оптимизации проектных решений систем кондиционирования и вентиляции воздуха [1][2]

В статьях [3], [4], [5], [6] были представлены существующие на данный момент методы расчета и проектирования воздушно-тепловых завес, а так же их преимущества, недостатки и имеющиеся на сегодняшний день проблемы энергосбережения связанные с данным видом оборудования и сферами его применения. В статьях [3], [4], [5] сделана попытка разработать математическую модель течения газа в проеме, оснащенный воздушной завесой и в том числе в работе [6] для моделирования, ранее малоизученных, пусковых режимов [7].

Изучение пусковых режимов работы воздушных завес различных типов представляет немалый интерес с точки зрения совершенствования, как конструкции этих изделий с точки зрения надежности [8][9] и энергоэффективности, так и систем контролирующей и регулирующей автоматики самого агрегата и систем автоматизации объекта, где установлена завеса.

В работе представлены расчеты, сделанные на основе разработанной модели.

Граничные условия, выбранные для расчета, следующие:

-ВТЗ среднего класса одного из известных отечественных производителей теплового и вентиляционного оборудования

-скорость течения воздуха на выходе из ВТЗ $V = 7,1$ м/с;

-температура 306,5 К;

-высота проема $H = 1,6$ м;

-ширина расчетной области $L = 1,4$ м;

-температура наружного воздуха меняется по высоте проема от 273,1 К до 273,3 К и в помещении от 293,4 К до 294,8 К.

Для сравнения данных полученных расчетным путем с реальными результатами, а также для получения новых опытных данных [10] поставлен ряд экспериментов в проеме с ВТЗ.

При проведении эксперимента учтены факторы, действующие на ВТЗ, условия в проеме и в помещении в целом.

Для создания необходимых условий было использовано два, разделенных стеной с открытым проемом (дверью), помещения и возможностью регулирования температуры в этих помещениях. Таким образом, реализовано две зоны с разной температурой воздушной среды.



Рис. 1. Воздушно-тепловая завеса «Классик»



Рис. 2. Температурные датчики

Возможность регулирования установки ВТЗ по высоте обеспечивала специально разработанная конструкция из перфорированного металлического профиля.

Потому как тепловой и воздушный потоки не однородны, замеры проведены по всему сечению проема. Для этого был изготовлен специальный координатный держатель с креплениями для датчиков температуры.

Замеры производились измерительным комплексом, в который входят температурные датчики Honeywell, считывающий блок, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) L-Card E14-140, компьютерная программа L-Graph.

Далее представлены данные полей температур воздуха в проеме и распределения температур в сходных контрольных точках замера, полученных расчетным путем и в результате проведенного эксперимента:

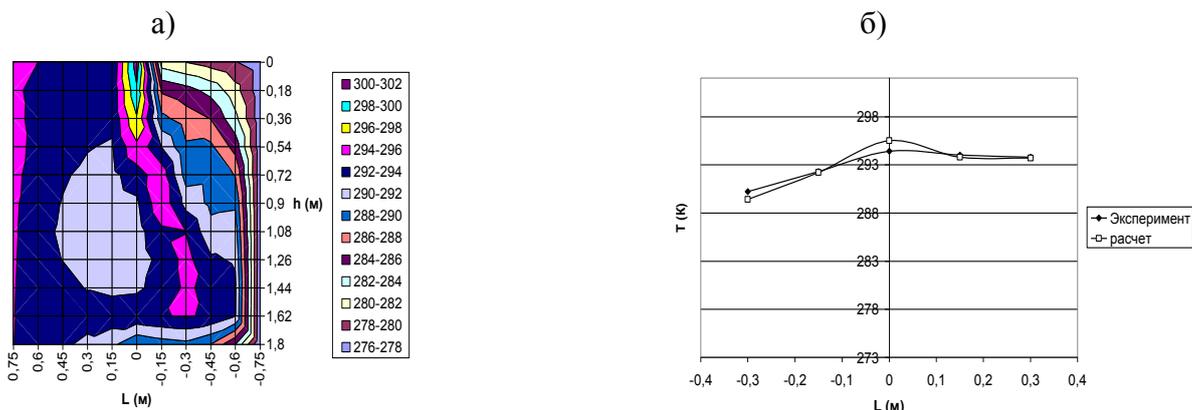


Рисунок 3. а) Поле температур в проеме через 5 сек после включения ВТЗ, б) сравнение данных на контрольной высоте $h=0,8$ м

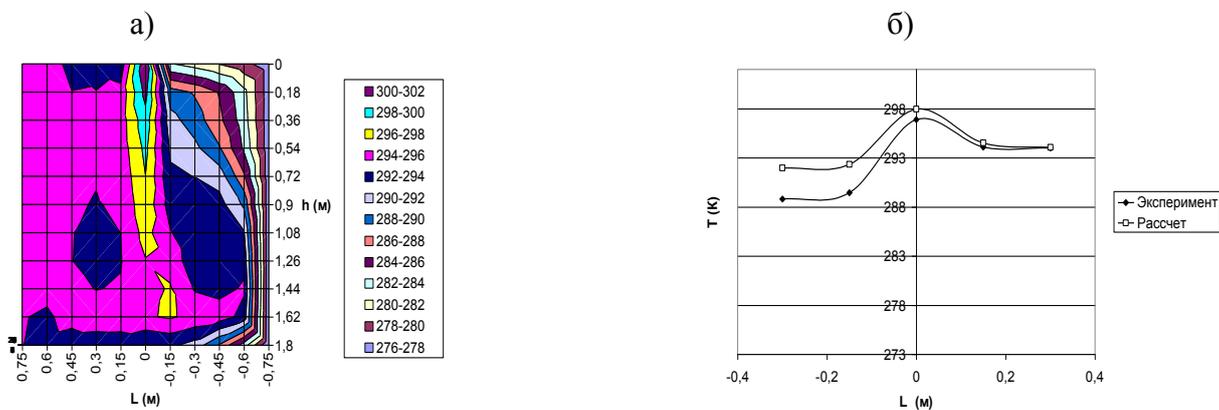


Рис. 4. а) Поле температур в проеме через 10 сек после включения ВТЗ, б) сравнение данных на контрольной высоте $h=0,8$ м

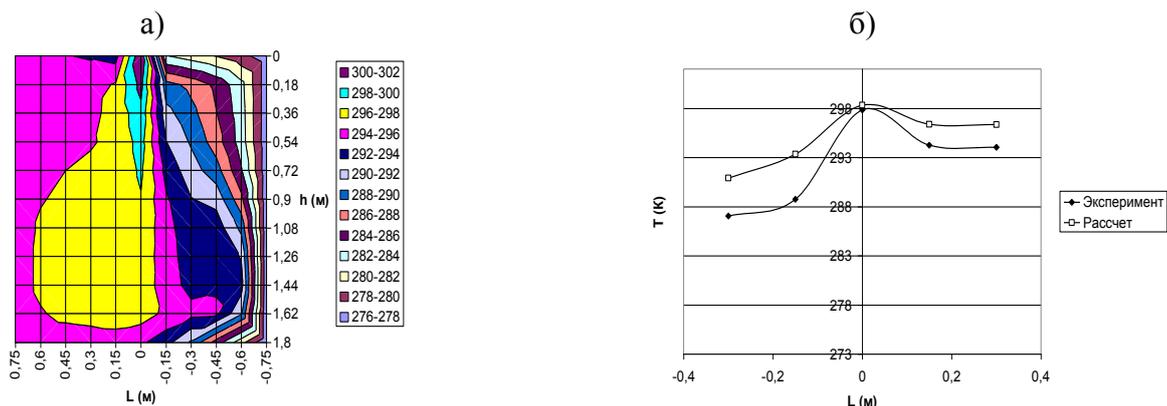


Рисунок 5. а) Поле температур в проеме через 15 сек после включения ВТЗ, б) сравнение данных на контрольной высоте $h=0,8$ м

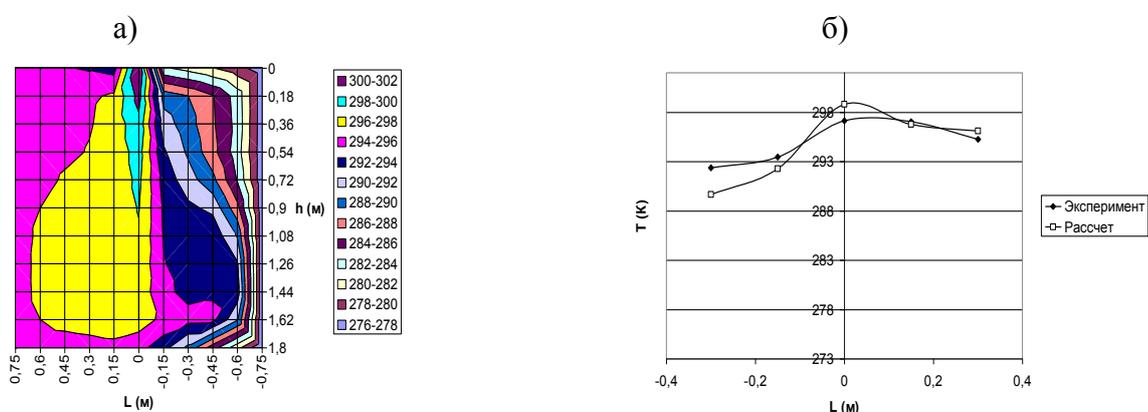


Рисунок 6. а) Поле температур в проеме через 20 сек после включения ВТЗ б) сравнение данных на контрольной высоте $h=0,8$ м

На рис. 3 видно, что распределение потоков циркулирующего воздуха на границе холодного и теплого помещений, на первый взгляд противоречит физике (вследствие наличия разности давлений холодный воздух должен вытеснить более теплый по всему проему), такое расхождение, можно, объяснить тем, что в момент открытия двери, холодный воздух в силу своей более высокой плотности опускается к низу проема и начинает подтекать в теплое помещение по полу, в то время как теплый воздух, подаваемый завесой, занимает образовавшееся пространство в холодном помещении. На рисунке отчетливо заметно подтекание холодного воздуха в теплое помещение, что свидетельствует о том, что тепловая завеса в момент времени $t=5$ с не вышла на постоянный режим работы, т.е. не обеспечивает защиту теплового помещения от поступления холодного воздуха.

Через десять секунд (рис. 4) после включения завесы отчетливо просматривается разграничение потоков воздуха по сторонам проема между теплым и холодным помещением. Однако все еще имеет место отклонение теплого потока воздуха в сторону холодного помещения.

Через пятнадцать секунд (рис. 5) после включения завесы поле температур указывает на большую стационарность режима. На теплой стороне почти сохраняется температура защищаемого помещения, однако на холодной стороне еще просматривается смешение холодного и теплого воздуха.

Начиная с 15 секунды работы, завеса выходит на режим и позволяет защитить теплое помещение от поступления холодного воздуха извне.

Имеющееся незначительное расхождение данных эксперимента и расчетных данных (рис. 4б, 5б, 6б) вызвано не учетом всех факторов в математической модели и погрешностей, вносимых в процессе

аппроксимации дифференциальных уравнений, а также невозможностью проведения идеального эксперимента.

Несмотря на указанные выше расхождения из полученных результатов, можно заключить, что разработанная математическая модель турбулентного течения вязкого газа и созданная на ее основе специализированная компьютерная программа имеют достаточную точность расчета термо- и аэродинамических процессов в проемах оборудованных воздушными завесами, в том числе и при расчетах пусковых режимов.

Список литературы

1. *Цыганков А.В., Гримитлин А.М.* Состояние и перспективы развития систем кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. 2013. № 4. с. 47–50.
2. *Цыганков А.В.* Подготовка специалистов в области климатической техники, состояние и перспективы. Сборник докладов научных чтений «Вентиляция общественных и промышленных зданий». — СПб.: Изд-во «АВОК Северо-Запад», 2013. с. 70–72.
3. *Григорьев А.Ю., Рубцов И.А.* Моделирование пусковых режимов работы тепловой завесы// Вестник Международной академии холода. 2012. № 3. с.32-35.
4. *Григорьев А.Ю., Рубцов И.А. и др.* Моделирование пусковых режимов работы тепловой завесы // Вестник Международной академии холода. 2011. № 4.
5. *А.Ю. Григорьев, И.А. Рубцов и др.* Постановка задачи моделирования аэро- и термодинамических процессов в проемах, оснащенных тепловыми завесами. Известия СПбГУНиПТ 2. 2008, с. 44-46.
6. *Цыганков А.В., Белоглазова А.С.* Комплексная оценка эффективности систем кондиционирования в помещениях жилых зданий // Вестник Международной академии холода. 2011. №4. с.33-35.
7. *Григорьев А.Ю., Григорьев К.А. и др.* Экспериментальное исследование аэро - и термодинамических процессов в проемах, оборудованных тепловыми завесами // Вестник Международной академии холода. 2014. №1. с.23-26.
8. *Войнов К.Н.* Алгоритм прогнозирования надежности механических систем. Сборник трудов XIII международной научной конференции «Трибология и надежность». – ISBN 978-5-7577-0437-1. Университет ИТМО. 2013г. с. 6-15.
9. *Войнов К.Н.* Алгоритм прогнозирования надежности механических систем - 2013. - С. 6-15.
10. *А.Ю. Григорьев и др.* Краткосрочные режимы работы воздушных тепловых завес. Научные труды VI Международной НТК «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». - СПб, 2013. с. 187–190.