

УДК 536.244

## Экспериментальные и расчетные исследования пусковых режимов работы воздушно-тепловой завесы

Д-р техн. наук А. Ю. ГРИГОРЬЕВ<sup>1</sup>, И. А. РУБЦОВ<sup>2</sup>,  
Д. А. ВОРОНОВ, Н. А. САВЕНКО, А. А. РАЙКОВ, Х. С. БАВЕЯН

<sup>1</sup>aygrig@list.ru, <sup>2</sup>lr@list.ru

Университет ИТМО

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

*Изучение пусковых режимов работы воздушных завес различных типов представляет немалый интерес с точки зрения совершенствования, как конструкции этих изделий, в том числе и с точки зрения надежности их работы, так и систем контролирующей и регулирующей автоматики самого агрегата и систем диспетчеризации и управления объекта, где установлена завеса. В данной работе проведен ряд экспериментальных исследований пусковых режимов работы воздушно тепловых завес на реальном проеме с использованием современного оборудования. При проведении эксперимента учитывались различные факторы, действующие на параметры работы ВТЗ, сам проем и помещение в целом. Реализованы две зоны с разной температурой воздушной среды, в которых и проходил эксперимент. В ходе данных исследований получены поля температур и скоростей от непосредственно запуска завесы до выхода ее на стационарный режим работы. Установлено время необходимое для выхода на режим. Установлены факторы, воздействующие на режим работы завесы во время открытия двери. Установлена сходимость эксперимента с ранее проведенным расчетом на разработанной математической модели и разработанной на ее основе CFD-программе. Данный метод расчета и в частности программа позволяют на этапе проектирования определить поля скоростей, давлений и температур воздуха в проеме во время пусковых режимов работы завесы.*

**Ключевые слова:** воздушная тепловая завеса, аэро- и термодинамические параметры, экспериментальный стенд, температурное поле, скорость воздуха.

## Heated air curtain starting operating modes

D. Sc. A. Yu. GRIGORYEV<sup>1</sup>, I. A. RUBTSOV<sup>2</sup>,  
D. A. VORONOV, N. A. SAVENKO, A. A. RAIKOV, Kh. S. BAVEYAN

<sup>1</sup>aygrig@list.ru, <sup>2</sup>lr@list.ru

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

*Starting operating mode of air curtain is of great interest in terms of both their design improvement (unit reliability being among them) and the improvement of control automated and dispatching systems for them. The article deals with experimental research of starting operation modes for air curtain mounted on actual door way. Modern equipment was used. Different parameters affecting air curtain operation, door way and room themselves were taken into account. Two experimental zones of different air temperature are brought into effect. Temperature pattern and velocity profile from curtain start up to its operation stabilization are determined. Warm up time is estimated. Parameters affecting air curtain operation when the door is being opened are determined. The experimental data are shown to repeat calculations made by developed mathematical model and CFD-program based on it. The method proposed allows determination of velocity and pressure profilers, air temperature pattern at the doorway during air-curtain starting operating mode at the time of the system design.*

**Keywords:** heated air curtain, aero- and thermodynamic parameters, experimental test bench, temperature pattern, air velocity.

Формирование комфортных параметров среды в обитаемых помещениях — основная функция систем жизнеобеспечения. Создание комфортной среды предполагает возможность поддержания индивидуальных параметров микроклимата (температура, влажность, подвижность, газовый состав воздуха, его загрязненность аэрозолями, акустическое давление, инсоляция и освещенность помещений) при безусловном соблюдении санитарно-гигиенических норм и требований. Таким образом, в самом общем случае, систему кондиционирования воздуха можно

рассматривать как единый комплекс инженерных подсистем и отдельных агрегатов [1]. В настоящее время, в арсенале проектировщиков имеются разнообразные машины и аппараты систем кондиционирования воздуха, которые позволяют решать широкий круг задач по формированию микроклимата в помещениях зданий и автономных объектов. В том числе воздушные и воздушно-тепловые завесы (ВТЗ), являющиеся не только средством обеспечения комфорта близ открытых окон, дверей и прочих проемов, но также энергосберегающим оборудованием.

В предыдущих статьях [2–4] были представлены существующие методы расчета и проектирования воздушно-тепловых завес, а так же их преимущества, недостатки и, имеющиеся на сегодняшний день, проблемы энергосбережения, связанные с данным оборудованием и сферами его применения. А так же сделана попытка разработать математическую модель течения газа в проеме, оснащенный воздушной завесой и в том числе для моделирования, ранее малоизученных, пусковых режимов работы [4].

Изучение пусковых режимов работы воздушных завес различных типов представляет немалый интерес с точки зрения совершенствования, как конструкции этих изделий, в том числе и с точки зрения надежности их работы [5], так и систем контролирующей и регулирующей автоматики самого агрегата и систем диспетчеризации и управления объекта, где установлена завеса.

В данной работе для расчета, в качестве исходных данных, взяты параметры соответствующие тепловой завесе среднего класса «Классик» (рис. 1):

- 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  $273,1 \div 273,3$  К и в помещении  $293,4 \div 294,8$  К переменны по высоте проема.

Для сравнения данных, полученных расчетным путем с реальными параметрами воздуха в проеме и для получения новых опытных данных, проведен эксперимент с использованием указанной завесы.

При проведении эксперимента учитывались различные факторы, действующие на параметры работы ВТЗ, сам проем и помещение в целом.

Для создания необходимых в эксперименте условий были использованы два помещения, разделенных стеной с открытым проемом (дверью) и возможностью регулирования температуры в обоих помещениях. Таким образом, реализованы две зоны с разной температурой воздушной среды.

Над проемом установили воздушно-тепловую завесу «Классик», для использования в качестве экспериментальной установки.



Рис. 1. ВТЗ «Классик»

Для обеспечения возможности регулирования по высоте ВТЗ крепится к стене посредством перфорированного профиля.

Замеры производились измерительным комплексом, в который входят температурные датчики Honeywell (рис. 2), считывающий блок, аналогово-цифровой преобразователь L-Card E14–140, компьютер с программой L-Graph.

На рис. 3 представлены расчетные и экспериментальные данные полей температур и скоростей воздуха в проеме и распределения температур в контрольных точках замера.

На рис. 3, а видно, что распределение потоков циркулирующего воздуха на границе холодного и теплого помещений, на первый взгляд противоречит физике — казалось бы, вследствие наличия разности плотностей холодный воздух должен вытеснять более теплый по всей высоте проема. Такое расхождение, можно, объяснить тем, что в момент открытия двери, холодный воздух в силу своей более высокой плотности опускается к низу проема и там начинает подтекать в теплое помещение, в то время как теплый воздух, подаваемый завесой, занимает образовавшееся пространство в холодном помещении.

Поле температур (рис. 4, а; 5, а; 6, а; 7, а) определяется полей скоростей (рис. 3), в то время как картина течения воздуха носит струйный характер. На рис. 4, а 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 и не обеспечивает защиту теплового помещения от поступления холодного воздуха.

Через десять секунд после включения завесы (рис. 3, б) отчетливо просматривается разграничение потоков воздуха по сторонам проема между теплым и холодным помещением. Аналогичная картина, что и на поле скоростей, наблюдается на поле температур (рис. 5, а). Четко просматривается разграничение между холодным и теплым помещением, но все еще имеет место отклонение теплого потока воздуха в сторону холодного помещения.

Стоит отметить, что получена достаточно точная сходимость эксперимента с расчетом. Однако необходимо отметить, что просматриваются некоторые закономерности расхождения результатов, полученных экспериментальным путем и расчетом. А именно, температура



Рис. 2. Температурные датчики

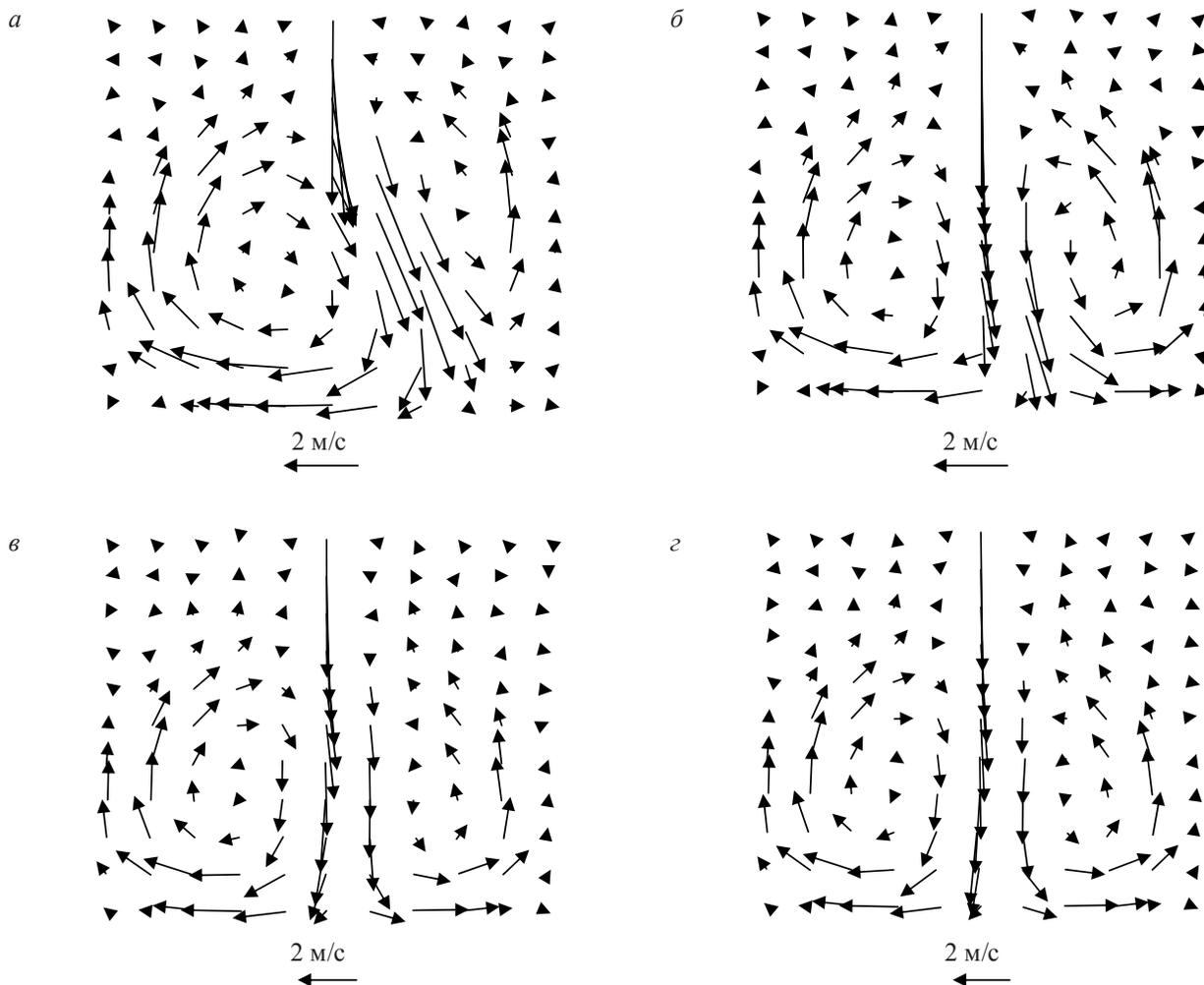


Рис. 3. Расчетное поле скоростей в проеме:  
 а — через 5 с после включения завесы; б — через 10 с после включения завесы;  
 в — через 15 с после включения завесы; г — через 20 с после включения завесы

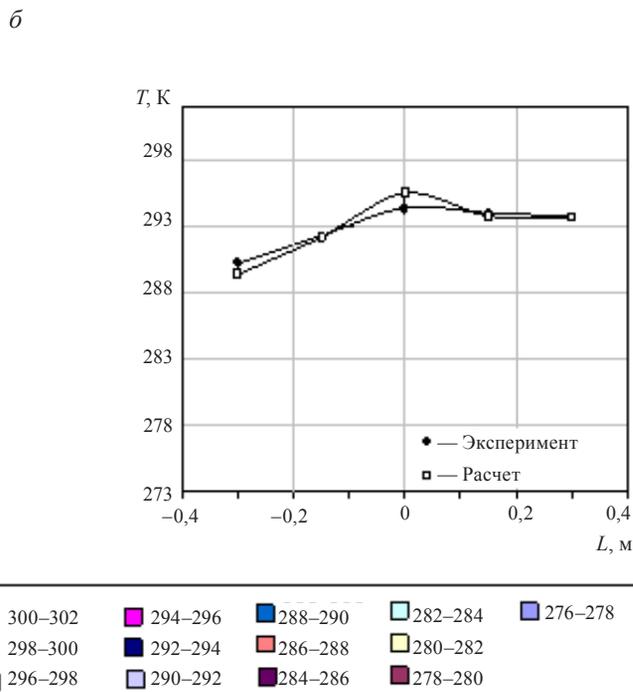
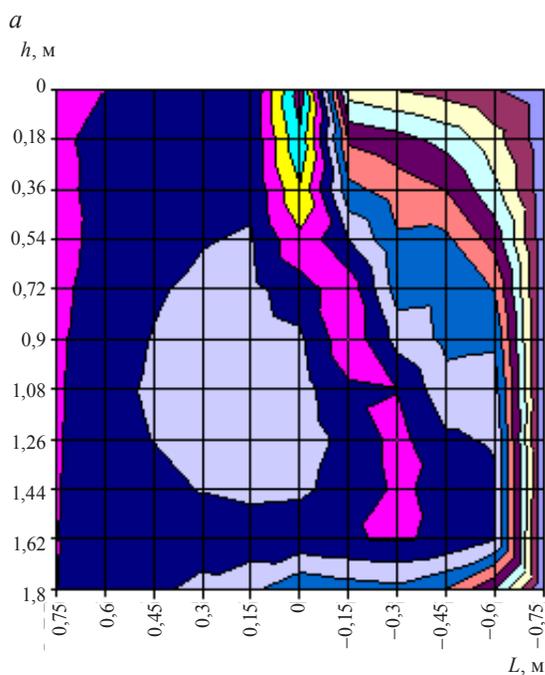


Рис. 4. Поле температур в проеме через 5 с после включения ВТЗ: а — расчетное поле температур;  
 б — сравнение расчетных и экспериментальных данных по температуре на контрольной высоте  $h = 0,8$  м

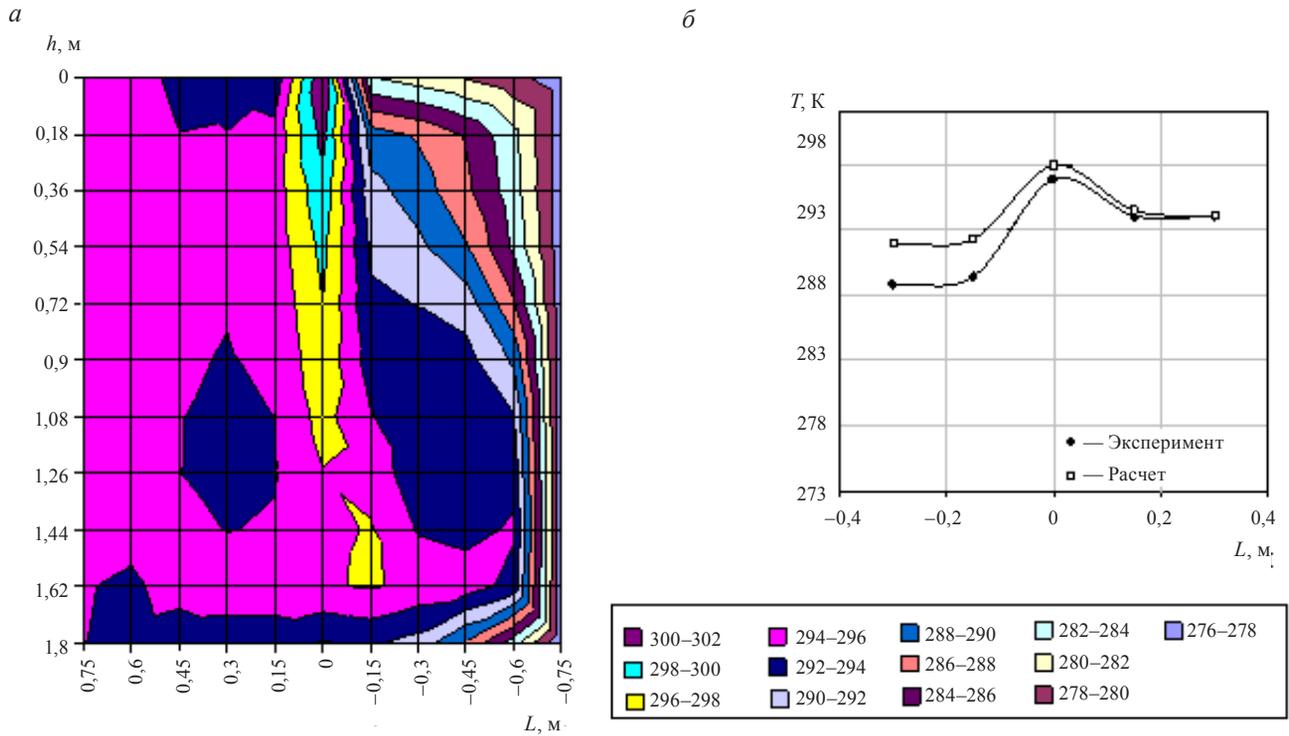


Рис. 5. Поле температур в проеме через 10 с после включения ВТЗ:

а — расчетное поле температур;

б — сравнение расчетных и экспериментальных данных по температуре на контрольной высоте  $h = 0,8$  м

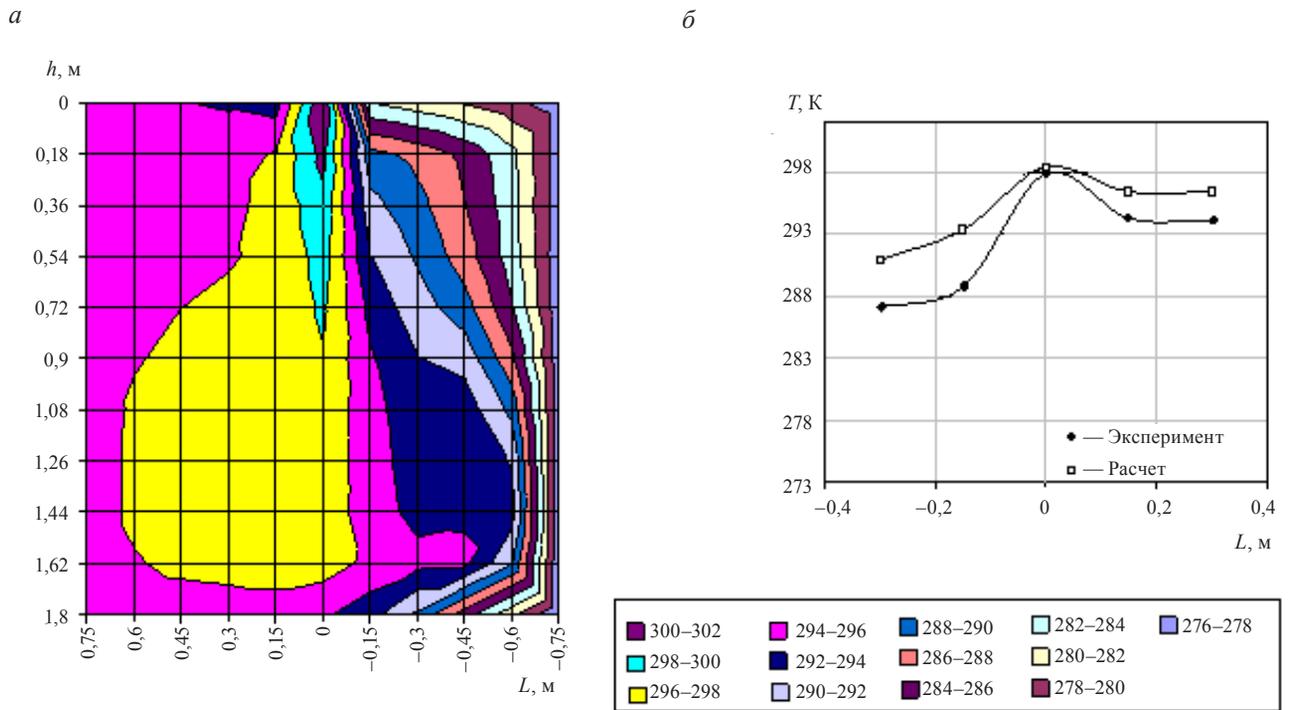


Рис. 6. Поле температур в проеме через 15 с после включения ВТЗ:

а — расчетное поле температур;

б — сравнение расчетных и экспериментальных данных по температуре на контрольной высоте  $h = 0,8$  м

в теплом помещении ниже, чем в холодном. Причина этой ситуации состоит в том, что в момент открытия двери холодный воздух начинает подтекать в теплое помещение, теплый занимает свободное пространство холодного помещения.

Через 15 с после включения завесы, поле скоростей (рис. 3, в) указывает на большую стационарность течения. Видно, что направления векторов скоростей, выходящего из завесы воздуха, становятся вертикальными по проему и, на обеих сторонах, вихри практически симметричны,

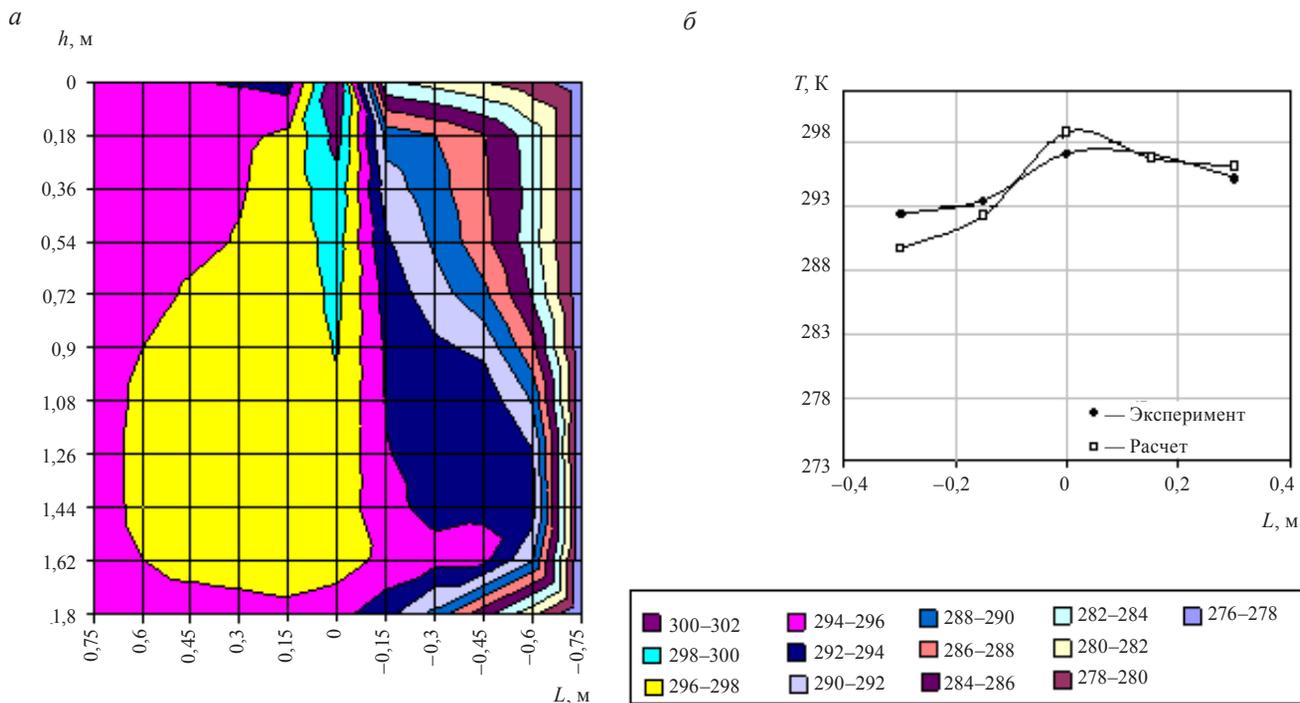


Рис. 7. Поле температур в проеме через 20 с после включения ВТЗ:

а — расчетное поле температур;

б — сравнение расчетных и экспериментальных данных по температуре на контрольной высоте  $h = 0,8$  м

что говорит о том, что характер движения воздушных масс в проеме становится стационарным. Что касается поля температур (рис. 6, а), то оно подтверждает выход на стационарный режим. На теплой стороне почти сохраняется температура защищаемого помещения, однако на холодной стороне еще просматривается смешение холодного и теплого воздуха. Выход на стационарный режим работы подтверждается как слабым отличием полей скоростей (рис. 3, в; 3, г), так и малой различимостью полей температур (рис. 6, 7) для результатов, полученных через 15 и 20 с после включения ВТЗ.

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

Небольшое имеющееся расхождение экспериментальных и расчетных данных вызвано, как неучетом всех факторов в математической модели и погрешностей, вносимых в процессе аппроксимации дифференциальных уравнений, так и невозможностью проведения идеального эксперимента.

Тем не менее, 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. Относительная погрешность расчета находится в пределах 5%. Полученные величины относительной погрешности и при измерении скорости течения, и при измерении температуры воздуха в струе

позволяют считать полученные в эксперименте результаты достаточно близкими к истинным.

Повышение стоимости энергии потребляемой инженерными системами зданий и рост требований к воздушно-тепловому комфорту помещений приводит к необходимости оптимизации проектных решений систем кондиционирования и вентиляции воздуха [6–10]. Данный метод расчета и в частности программа позволяют на этапе проектирования определить поля скоростей, давлений и температур воздуха в проеме во время работы завесы. Что поможет точно определить тип и модель агрегата и при этом избежать серьезных ошибок при оценке эффективности его работы.

### 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. Григорьев А. Ю., Рубцов И. А. Моделирование пусковых режимов работы тепловой завесы. // Международной академии холода. 2012. № 3. с. 32–35.
3. Григорьев А. Ю., Рубцов И. А. Моделирование пусковых режимов работы тепловой завесы. // Вестник Международной академии холода. 2011. № 4. с. 24–26.
4. Григорьев А. Ю., Рубцов И. А. и др. Постановка задачи моделирования аэро- и термодинамических процессов в проемах, оснащенных тепловыми завесами. // Известия СПбГУНиПТ. 2008. № 2. с. 44–46.
5. Войнов К. Н. Алгоритм прогнозирования надежности механических систем. Сборник трудов XIII международной

- научной конференции «Трибология и надежность». — СПб.: Университет ИТМО. 2013. с. 6–15.
6. Цыганков А. В., Белоглазова (Фонякова) А. С. Комплексная оценка эффективности систем кондиционирования в помещениях жилых зданий. // Вестник Международной академии холода. 2011. № 4. с. 33–35.
  7. 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.
  8. Григорьев А. Ю., Григорьев К. А., Брайнин А. Я. Экспериментальное исследование аэро- и термодинамических процессов в проемах, оборудованных тепловыми завесами. // Вестник Международной академии холода. 2014. № 1. с. 23–26.
  9. Григорьев А. Ю. 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.
  10. Григорьев А. Ю. О неравномерности полей температуры газа в рабочих камерах многоступенчатого поршневого компрессора. // Вестник Международной академии холода. 2008. № 4.

### References

1. Tsygankov A. V., Gritimlin A. M. Development of air-conditioning systems: current status and prospects. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2013. No 4. p. 47–50. (in Russian)
2. Grigoryev A. Yu., Rubtsov I. A., Shilets A. A. Simulation of start-up modes in air curtains. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2012. No 3. p. 32–35. (in Russian)
3. Grigoryev A. Yu., Rubtsov I. A. Aero- and thermodynamic processes in embrasures equipped with thermal curtains. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2011. No 4. p. 24–26. (in Russian)
4. Grigoryev A. Yu., Rubtsov I. A. etc. A problem definition of simulation aero — and thermodynamic processes in the apertures equipped with thermal veils. *Izvestiya SPbGUNiPT*. 2008. No 2. p. 44–46. (in Russian)
5. Voinov K. N. Prediction algorithm of reliability of mechanical systems. Collection of works XIII of the international scientific conference «Tribology and Reliability». — SPb.: ITMO University. 2013. p. 6–15. (in Russian)
6. Tsygankov A. V., Beloglazova (Fonyakova) A. S. Complex estimation of efficiency of central airs Air of premises of residential buildings. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2011. No 4. p. 33–35. (in Russian)
7. Tsygankov A. V. Training of specialists in the field of climatic technique, a status and perspectives. Collection of reports of scientific readings «Cooling of public and industrial buildings». — SPb.: Publishing house «AVOK Northwest» 2013. p. 70–72. (in Russian)
8. Grigoryev A. Yu., Grigoryev K. A., Braynin A. Ya. A pilot study of aero- and thermodynamic processes in the apertures equipped with heated air curtains *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2014. No 1. p. 23–26. (in Russian)
9. Grigoryev A. Yu. etc. Short-term operation modes of air thermal veils. Scientific works of the VI International NTK «The Low-temperature and Food Technologies in the XXI Century». — SPb., 2013. p. 187–190. (in Russian)
10. Grigoryev A. Yu. About non-uniformity of fields of temperature of gas in working cameras of the multistage piston compressor. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2008. No4. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 17.12.2014



# UzProdExpo

11-я Международная специализированная выставка пищевой промышленности и продуктов питания

**UzProdExpo – 2015**  
**25–27 ноября 2015 г**

Актуальность проведения выставки обусловлена стремительным развитием пищевой и перерабатывающей промышленности. Основная задача выставки — создание платформы для эффективной деловой коммуникации с производителями продукции, оборудования для переработки, представить в рамках выставки весь технологический процесс производства продуктов питания, от переработки сырья до получения окончательного упакованного продукта.

#### Основные тематические разделы:

- Оборудование для пищевой и перерабатывающей промышленности.
- Упаковка.
- Торговое и холодильное оборудование.
- Продукты питания.
- Ингредиенты.

#### Место проведения выставки:

НБК «УзЭкспоЦентр», Республика Узбекистан

#### Менеджер проекта:

Ольга Сокольникова

Тел./ф.: 998 71 238 94 68, 998 71 238 91 82

e-mail: sales5@ieg.uz, prod@ieguzexpo.com

[www.ieg.uz](http://www.ieg.uz)