

На правах рукописи



**БАЗИЛЕВ РУСЛАН ВИТАЛЬЕВИЧ**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ  
КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА  
В ПОМЕЩЕНИЯХ ПЕРЕРАБОТКИ СЫРЬЯ  
НА МЯСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

**Специальность 05.04.03 — Машины и аппараты,  
процессы холодильной и криогенной техники,  
систем кондиционирования и жизнеобеспечения**

**АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Москва 2006

Работа выполнена на кафедре "Холодильная техника" ГОУ ВПО «Московский государственный университет прикладной биотехнологии».

Научный руководитель - кандидат технических наук,  
профессор  
Малова Н.Д.

Официальные оппоненты: - доктор технических наук,  
профессор  
Космодемьянский Ю.В.  
- кандидат технических наук,  
доцент  
Гоголин В.А.

Ведущая организация: Государственное научное учреждение  
Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности им. В.М.Горбатова

Защита состоится *"16" мая* 2006 года в *"14"* часов на заседании диссертационного совета К 212.149.02 при Московском государственном университете прикладной биотехнологии по адресу:  
109316, Москва, Талалихина ул., 33, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГУПБ.

Автореферат разослан *"14" 04* 2006 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент



Никифоров Л.Л.

2006А  
7531

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Повышение эффективности систем кондиционирования воздуха в технологических помещениях разделки и машинной переработки сырья на мясоперерабатывающих предприятиях является актуальной проблемой в связи с возросшими санитарно-гигиеническими и экологическими требованиями к качеству выпускаемой продукции и значительным повышением уровня технического оснащения предприятий.

Решение проблемы повышения эффективности систем кондиционирования путем уменьшения энергозатрат связано в первую очередь с совершенствованием процессов тепловлажностной обработки воздуха в различные периоды года. Кроме того повышение эффективности систем кондиционирования может быть достигнуто путем совершенствования способов и техники воздухораспределения, позволяющих обеспечить подачу и распределение воздуха в помещениях в соответствии с технологическими и санитарно-гигиеническими условиями.

**Цель работы.** Разработать способы и технику кондиционирования, способные обеспечить уменьшение энергозатрат на подготовку воздуха с параметрами, заданными технологическими нормами.

### Основные задачи работы:

1. Выполнить исследование применяемых систем кондиционирования и определить систему с наименьшими энергозатратами и параметрами воздуха, соответствующими технологическим нормам.

2. Разработать способ и систему кондиционирования, позволяющие уменьшить расход холода и теплоты с обеспечением рекомендуемого температурно-влажностного режима.

3. Выполнить исследование действующих систем воздухораспределения и определить систему с наименьшими энергозатратами.

4. Разработать способ и технику воздухораспределения, позволяющие уменьшить расход электроэнергии и обеспечить распределение воздуха в рабочей зоне в соответствии с санитарно-гигиеническими и технологическими условиями.

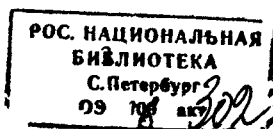
### Научная новизна

— исследован и разработан способ кондиционирования, учитывающий особенности тепловлажностных характеристик мясоперерабатывающих помещений и обеспечивающий уменьшение расходов теплоты и холода на подготовку воздуха заданных параметров;

— исследованы и разработаны конструкции перфорированных текстильных воздухопроводов, позволяющих уменьшить энергозатраты в системах воздухораспределения при поддержании заданной скорости движения воздуха и условий его равномерного распределения в рабочей зоне помещений;

— разработана методика расчета системы воздухораспределения через перфорированные текстильные воздухопроводы предлагаемой конструкции.

**Практическое значение работы** заключается в следующем:



1. Разработано техническое решение системы кондиционирования, работающей по предлагаемому способу. На способ кондиционирования воздуха (авт. Малова Н.Д., Базилев Р.В. и др.) подана и опубликована заявка на изобретение.

2. Выполнен сравнительный анализ энергозатрат в действующих и предлагаемой системах кондиционирования.

3. Разработаны технические решения систем воздухораспределения с перфорированными текстильными воздуховодами предлагаемой конструкции.

4. Разработано учебное пособие "Распределение воздуха в производственных кондиционируемых помещениях" для студентов холодильной специальности. Учебное пособие применяется при проведении лекционных и практических занятий по дисциплине "Аэродинамика и вентиляторы".

5. Определены технико-экономические показатели систем кондиционирования и воздухораспределения предлагаемой конструкции, подтверждающие целесообразность их внедрения.

6. Технические решения системы кондиционирования, работающей по предлагаемому способу, и системы воздухораспределения с перфорированными текстильными воздуховодами предложенной конструкции передан для внедрения проектному отделу группы компаний Термокул (Акт передачи разработанных технических решений утвержден на техсовете и подписан генеральным директором в октябре 2005 г.).

**Достоверность результатов.** Анализ и исследование тепловлажностных характеристик кондиционируемых помещений выполнен с учетом рекомендаций СН и П, отраслевых стандартов и нормативных документов по проектированию предприятий мясной промышленности. Определение характеристик перфорированных воздухопроводов выполнено на основании типовой методики исследования воздухораспределителей, разработанной институтом "Проектпромвентиляция".

**Апробация работы.** Основные результаты работы доложены на III международной научной конференции студентов и молодых ученых "Живые системы и биологическая безопасность населения" (МГУПБ, 2004).

Работа выполнена по теме МГУПБ НИР № 4-1-01В "Исследование систем управления установками кондиционирования мясоперерабатывающих предприятий" 2002 – 2004 г.

**Публикации.** По материалам диссертационной работы опубликовано 6 научных работ, в том числе подана заявка на патент "Способ кондиционирования тепловлагонапряженных помещений" (№ 2005/22 306/06).

**На защиту выносятся:**

— результаты исследований процессов тепловлажностной обработки воздуха в системах кондиционирования;

— результаты исследований действующих и предлагаемой систем кондиционирования;

— результаты исследований действующих систем воздухораспределения;

— результаты исследований перфорированных текстильных воздухопроводов и систем воздухораспределения с воздуховодами предлагаемой конструкции;

— методика расчета систем воздухораспределения с перфорированными текстильными воздуховодами.

**Структура и объем диссертации.** Работа состоит из введения, шести глав и приложения. Диссертационная работа изложена на 210 страницах машинописного текста, содержит 35 рисунков, 25 таблиц, приложение. Список литературных источников включает 85 наименований работ отечественных и зарубежных авторов.

### Содержание работы

**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований. Кратко изложены направления работы по совершенствованию систем кондиционирования воздуха в технологических помещениях мясоперерабатывающих предприятий.

**В первой главе** "Исследование процессов тепловлажностной обработки воздуха в системах кондиционирования" приведены результаты анализа тепловлажностных характеристик помещений для разделки и машинной переработки мясного сырья как объектов кондиционирования. Приведены результаты исследований процессов тепловлажностной обработки воздуха в действующих наиболее эффективных центральных и центрально-местных системах кондиционирования.

На рис. 1 приведена схема круглогодичного процесса кондиционирования в центральных системах с первым и вторым подогревом. Системы работают с применением постоянной рециркуляции в теплый период года и переменной рециркуляции — в холодный период. На рис. 2 приведена компоновочная схема центрального кондиционера, работающего с применением процессов тепловлажностной обработки воздуха, представленных на рис. 1.

На рис. 3 показаны графики работы оборудования центрального кондиционера в зависимости от изменения параметров наружного воздуха. На графиках показано изменение удельного расхода теплоты и холода, а также количества наружного и внутреннего воздуха в течение всего года.

На рис. 4 приведена схема круглогодичного процесса кондиционирования в центрально-местных системах. В таких системах центральный кондиционер применяют в качестве приточной установки, обеспечивающей подачу и обработку наружного воздуха в соответствии с санитарно-гигиеническими

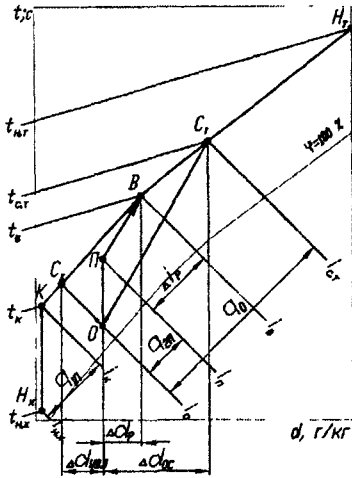


Рис. 1. Схема круглогодичного процесса кондиционирования с первым и вторым подогревом воздуха в центральной системе

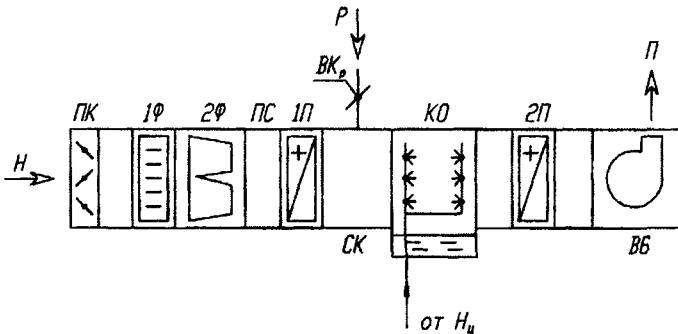


Рис. 2. Компоновочная схема центрального кондиционера с первым и вторым подогревом: ПК — приемный клапан; 1Ф, 2Ф — фильтры; ПС — промежуточная секция; 1П, 2П — воздухонагреватели первого и второго подогрева; СК — смешивательная камера; ВКр — клапан рециркуляции; КО — камера орошения; ВБ — вентиляторный блок; Н, Р, П — воздух наружный, рециркуляционный и приточный

условиями. В качестве местных аппаратов могут быть использованы воздухоохладители и другие охлаждающие устройства, предназначенные для погашения избыточных поступлений теплоты и влаги, поступающих в помещения. На рис. 5 и 6 приведены компоновочная схема и графики работы оборудования центрально-местной системы кондиционирования. Из приведенных схем следует, что центрально-местные системы не имеют второго подогрева, обеспечивают более упрощенную схему обработки воздуха, но не способны

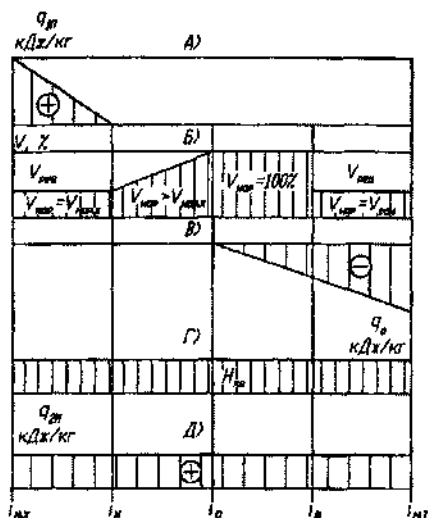


Рис. 3. Графики работы оборудования центрального кондиционера с первым и вторым подогревом в зависимости от энтальпии наружного воздуха: а) воздухонагревателя первого подогрева; б) смесительной камеры; в) камеры орошения; г) насоса камеры орошения; д) воздухонагревателя второго подогрева

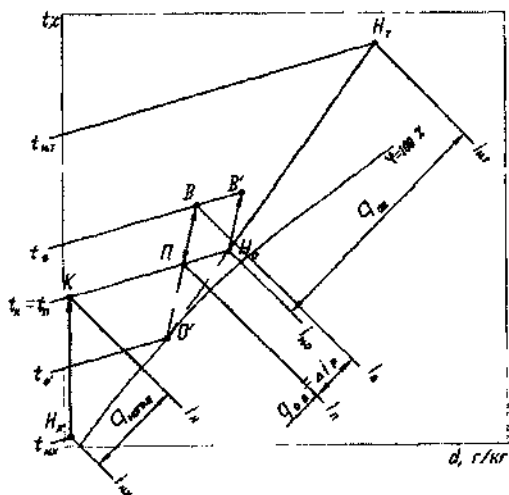


Рис. 4. Схема круглогодичного процесса кондиционирования в центрально-местной системе при раздельной обработке наружного и внутреннего воздуха

поддерживать относительную влажность воздуха в помещениях в рекомендуемых пределах.

На рис. 7 приведена схема круглогодичного процесса кондиционирования в центральной системе, работающей по предлагаемому способу и позволяющей поддерживать температурно-влажностный режим в помещениях в заданных пределах. Предлагаемый способ учитывает особенности тепловлажностных характеристик исследуемых кондиционируемых помещений: незначительное различие тепловлажностных коэффициентов для теплого и





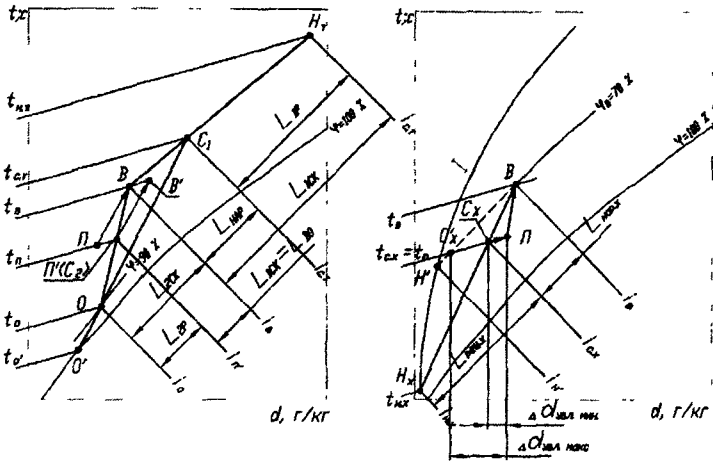


Рис. 7. Схема процесса кондиционирования в центральной системе, работающей по предлагаемому способу обработки воздуха:

а) в теплый период года; б) в холодный период года:

I — климатическая кривая

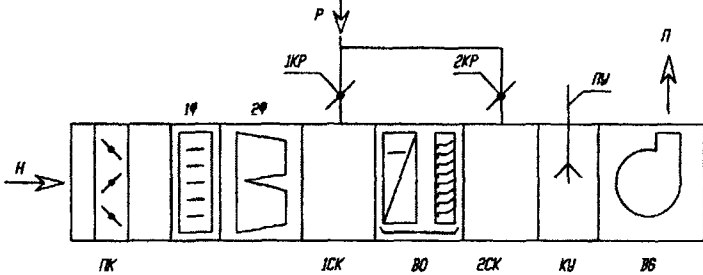


Рис. 8. Компонентная схема центрального кондиционера, работающего по предлагаемому способу обработки воздуха: ПК — приемный клапан; 1Ф, 2Ф — фильтры; 1СК, 2СК — смесительные камеры; 1КР, 2КР — клапаны рециркуляции; ПС — промежуточная секция; ВО — воздухоохладитель; КУ — камера увлажнителя; ВБ — вентиляторный блок; Н, Р, П — воздух наружный, рециркуляционный, приточный; ПУ — паровой увлажнитель

На рис. 10 приведены графики удельных расходов теплоты и холода на 1000 м<sup>3</sup> в час кондиционированного воздуха с учетом климатических условий г. Москвы. Из рис. 10 следует, что предлагаемая система кондиционирования характеризуется наименьшим расходом теплоты и холода. В диссертации приведено техническое решение предлагаемой системы кондиционирования.

Во второй главе "Исследование действующих систем воздухораспределения" приведены характеристика и анализ режимов работы систем возду-

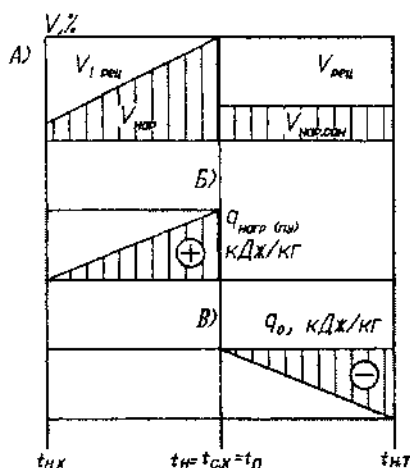


Рис. 9. Графики работы оборудования предлагаемой системы кондиционирования в зависимости от параметров наружного воздуха: а) смесительных камер; б) парового увлажнителя; в) воздухоохладителя

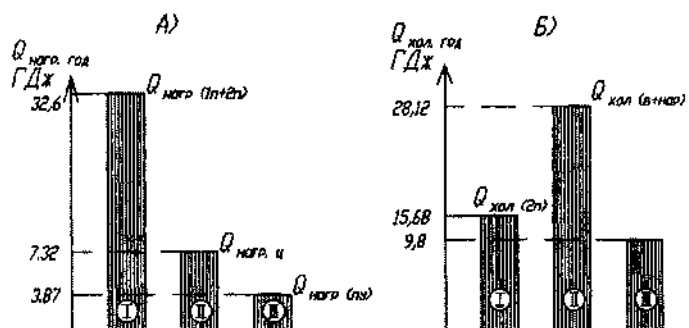


Рис. 10. Графики удельных годовых расходов теплоты и холода (на 1000 м<sup>3</sup>/ч): а) теплоты; б) холода: I — система центральная действующая (с первым и вторым подогревом); II — система центрально-местная действующая; III — система центральная предлагаемая

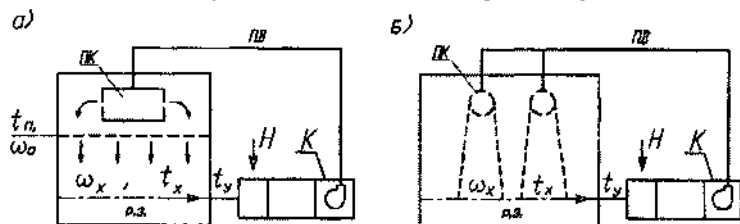


Рис. 11. Схемы систем воздушораспределения с вертикальной подачей приточного воздуха и удалением обработанного воздуха из рабочей зоны: а — подача воздуха через перфорированные панели; б — подача воздуха через перфорированные воздуховоды; ПК — приточный распределительный канал (перфорированный воздуховод); ПВ — приточный воздуховод; К — кондиционер

хораспределения, применяемых на мясоперерабатывающих предприятиях иобеспечивающих вертикальную подачу приточного воздуха сверху вниз че-  
рез: 1) перфорированные панели подшивных потолков (рис. 11а); 2) перфо-  
рированные воздуховоды серийного производства типа ВПК (воздухораспре-  
делитель перфорированный круглый), изготовленные из оцинкованной ста-  
ли; 3) перфорированные текстильные воздуховоды. Схема системы воздухо-  
распределения с перфорированными воздуховодами приведена на рис. 11б. Сравнительный анализ режимов работы применяемых систем показал, что  
наиболее эффективными являются системы воздухораспределения с перфо-  
рированными воздуховодами, так как при одинаковых исходных данных  
кондиционируемых помещений они характеризуются меньшим удельным  
расходом воздуха, чем системы с перфорированными панелями. Удельный  
расход воздуха, необходимый для погашения теплопритоков в действующих  
системах воздухораспределения составляет: при распределении через перфо-  
рированные панели  $V_{уд.пан.}^{\Sigma Q} = 95,2 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^2$ ; через перфорированные воздухо-  
воды  $V_{уд.перф.в.}^{\Sigma Q} = 75,6 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^2$ .

На рис. 12 приведена схема системы воздухораспределения через пер-  
форированные воздуховоды с удалением отработанного воздуха из верхней  
зоны помещений (предлагаемый вариант). Разработано техническое решение  
системы воздухораспределения с перфорированными воздуховодами, рабо-  
тающей по способу "сверху — вниз — вверх". В системе такой конструкции  
удельный расход, необходимый для погашения теплопритоков, значительно  
уменьшается и составляет:  $(V_{уд.перф.в.}^{\Sigma Q}) = 53,6 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^2$ .

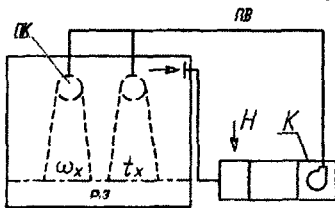


Рис. 12. Схема системы воздухораспреде-  
ления через перфорированные воздуховоды с  
удалением отработанного воздуха из верхней  
зоны помещения: ПК — приточный канал  
(перфорированный воздуховод); ПВ — при-  
точный воздуховод; К — кондиционер

Выполнен анализ режимов работы систем воздухораспределения с  
перфорированными воздуховодами типовой конструкции (воздуховоды  
ВПК) и перфорированными текстильными воздуховодами для определения  
удельного расхода воздуха, необходимого для обеспечения заданной скоро-  
сти в рабочей зоне помещений. Анализ выполнен на примере мясоперераба-  
тывающего завода производительностью 10 т/см. Результаты анализа показа-  
ли, что системы, работающие с верхним удалением отработанного воздуха и  
оборудованные типовыми перфорированными воздуховодами ВПК, обеспе-  
чивают заданную скорость воздуха в рабочей зоне при удельном расходе  
 $V_{уд.впк}^{\omega} = 76 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^2$  системы с перфорированными текстильными воздухо-  
водами характеризуются удельным расходом воздуха  $V_{уд.т}^{\omega} = 62,4 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^2$ .

В третьей главе "Исследование систем воздухораспределения через перфорированные текстильные воздуховоды" изложены результаты исследований предлагаемых конструкций воздуховодов и систем воздухораспределения. Разработаны конструкции перфорированных текстильных воздуховодов диаметром 315 – 630 мм: диаметр отверстий  $d_0 = 5$  мм; шаг отверстий по длине воздуховодов  $t_0 = 2,5d_0$ ; коэффициент живого сечения  $K_{ж.с.} = 0,025$  для воздуховодов диаметром 315 мм; для воздуховодов диаметром 400 – 630

$$\text{мм: } K_{ж.с.400} = K_{ж.с.315} \frac{d_{400}}{d_{315}}; \quad K_{ж.с.500} = K_{ж.с.400} \frac{d_{500}}{d_{400}};$$

$$K_{ж.с.630} = K_{ж.с.500} \frac{d_{630}}{d_{500}}.$$

Шаг отверстий по периметру перфорированной поверхности воздуховодов:

$$t_{0\text{перф.315}} = \frac{1,57d_{315}}{n_{\text{перф.315}}}; \quad t_{0\text{перф.400}} = t_{0\text{перф.315}} \frac{d_{315}}{d_{400}};$$

$$t_{0\text{перф.500}} = t_{0\text{перф.400}} \frac{d_{400}}{d_{500}}; \quad t_{0\text{перф.630}} = t_{0\text{перф.500}} \frac{d_{500}}{d_{630}}.$$

Исследованиями установлено, что заданная скорость воздуха в рабочей зоне  $\omega_{р.з.} = 0,15$  м/с при рекомендуемом диапазоне изменения в пределах 0,13 – 0,17 м/с достигается при применении воздуховодов диаметром 500 мм при скорости воздуха на входе в воздуховод  $\omega_{вх} = 5$  – 7 м/с и скорости приточного воздуха  $\omega_0 = 3,13$  – 4,38 м/с, а также при применении воздуховодов диаметром 630 мм; при этом скорость воздуха на входе в воздуховод находится в пределах  $\omega_{вх} = 4$  – 5,3 м/с, а скорость приточного воздуха  $\omega_0 = 2,5$  – 3,5 м/с (рис. 13 – 15). Воздуховоды диаметром 315 и 400 мм не обеспечивают заданную скорость воздуха в рабочей зоне помещений при скорости воздуха на входе в воздуховоды, находящейся в рекомендуемых пределах ( $\omega_{вх\text{рек}} = 4$  – 8 м/с).

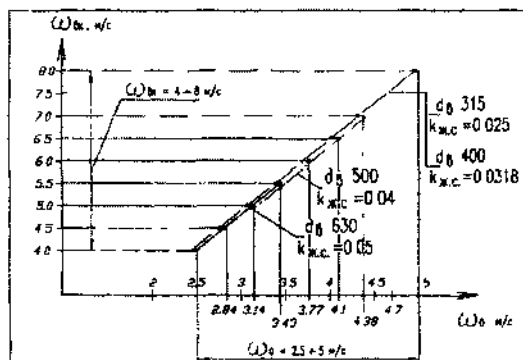


Рис. 13. Изменение скорости приточного воздуха в зависимости от рекомендуемой скорости на входе в перфорированные текстильные воздуховоды

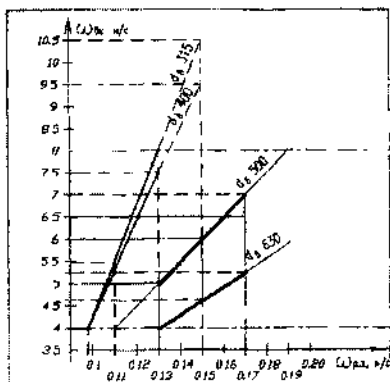


Рис. 14. Скорость в рабочей зоне в зависимости от скорости на входе в перфорированные текстильные воздуховоды

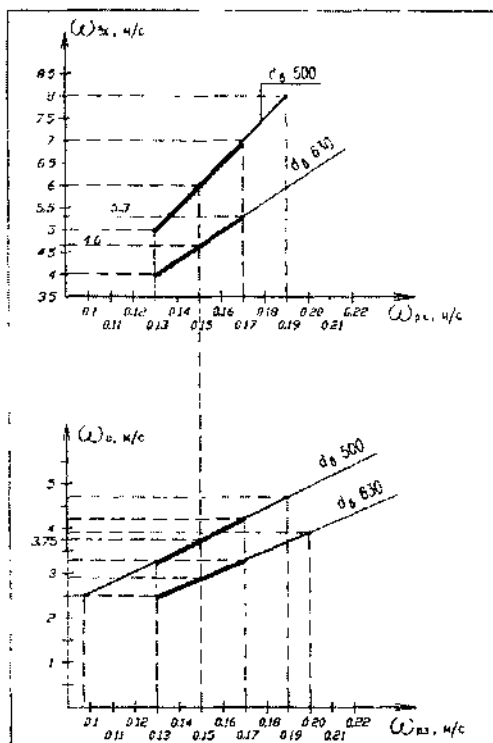


Рис. 15. Скорость воздуха в рабочей зоне в зависимости от скорости приточного воздуха и на входе в воздуховоды

На основании полученных результатов определены значения удельного расхода воздуха, подаваемого через 1 м воздуховода, в системах воздухораспределения с перфорированными текстильными воздуховодами предлагаемой конструкции (рис. 16).

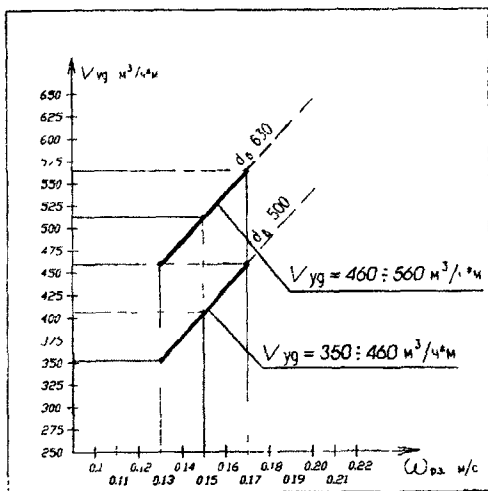


Рис. 16. Зависимость удельного расхода воздуха  $V_{уд}$  ( $\text{м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}$ ) в зависимости от скорости в рабочей зоне

В четвертой главе "Исследования коэффициентов местного сопротивления текстильных перфорированных воздухопроводов" приведены описание экспериментальной установки, методика проведения экспериментов, результаты экспериментальных и аналитических исследований.

На рис. 17 приведена схема экспериментальной установки. Установка разработана на базе центрального блочного кондиционера, холодильного агрегата, приточного воздухопровода с клапаном и перфорированного текстильного воздухопровода предлагаемой конструкции. Установка позволяет определить

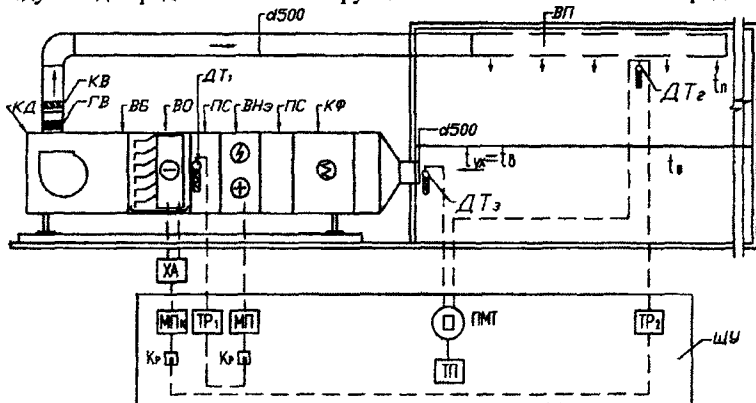


Рис. 17. Схема экспериментальной установки: КФ — карманный фильтр, ПС — промежуточная секция; ВНЭ — воздушонагреватель электрический; ВО — воздухоохладитель; ВБ — вентиляторный блок, ГВ — гибкая вставка; КВ — клапан воздушный, КД — кондиционер, ВП — воздухопровод перфорированный; ХА — холодильный агрегат; ЩУ — щит управления

коэффициент местного сопротивления перфорированного воздухопровода при изменении скорости подаваемого воздуха  $\omega_{вз} = 4 \div 8 \text{ м/с}$ .

На рис. 18 — 19 приведены графики, показывающие значения коэффициента трения  $\lambda$  и коэффициента местного сопротивления  $\zeta$  перфорированного воздуховода, имеющего диаметр 500 мм; значения получены на основании экспериментальных данных изменения скорости воздуха  $\omega_{вх}$  на входе в воздуховод и приточного воздуха  $\omega_0$  на выходе из отверстий перфорированной поверхности. Дополнительно значения коэффициента местного сопротивления  $\zeta$  определены по методике Талиева В.Н. Значения коэффициентов  $\lambda$  и  $\zeta$  перфорированного воздуховода диаметром 630 мм определены при изменении скорости воздуха  $\omega_{вх}$  и  $\omega_0$  в том же диапазоне.

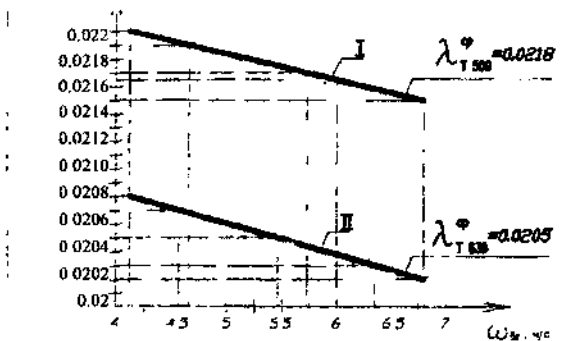


Рис. 18. Коэффициент трения перфорированных текстильных воздуховодов: I диаметр —  $d_n = 500$  мм; II — диаметр  $d_n = 630$  мм

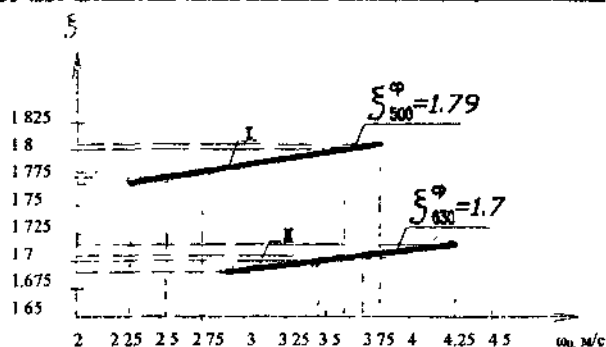


Рис. 19. Коэффициент местного сопротивления перфорированных текстильных воздуховодов: I диаметр —  $d_n = 500$  мм; II — диаметр  $d_n = 630$  мм

В табл. 1 приведены значения коэффициентов  $\lambda_{T,cp}$  и  $\zeta$  воздуховодов диаметром 500 и 630 мм.

Таблица 1

Диаметр воздуховода, мм	Коэффициент живого сечения $K_{жс}$	Отношение скорости $\omega_0/\omega_{вх}$	Коэффициент трения $\lambda_{тср}$	Коэффициент местного сопротивления $\xi_{тср}$ *)
500	0,04	$3,75/6,0 = 0,63$	0,0218	1,9 (1,79)
630	0,05	$2,9/4,6 = 0,63$	0,0205	1,87 (1,7)

\*) в скобках приведены средние значения коэффициента  $\xi_{тср}$ , определенные по экспериментальным данным.

На основании полученных значений коэффициентов  $\lambda_t$  и  $\zeta$ , определены удельные потери напора воздуха:  $\Delta P_{уд500} = 3,3$  Па/м;  $\Delta P_{уд630} = 2,2$  Па/м.

В пятой главе "Исследование режимов работы действующих и предлагаемой систем кондиционирования" приведены исследования режимов работы систем кондиционирования сырьевых отделений действующих мясоперерабатывающих предприятий производительностью 10—35 т/см. В результате определены: удельный теплоприток  $q_{уд} = 23 \div 32$  Вт/м<sup>3</sup>; тепловлажностный коэффициент кондиционируемых помещений  $\epsilon_{пом} = 6800 - 10500$  кДж/кг; необходимое количество наружного воздуха  $V_{нарсан} = 0,1V$ , где  $V$  — расход воздуха, соответствующий условию обеспечения заданной скорости воздуха в рабочей зоне помещений; удельный расход воздуха, соответствующий тепловому балансу,  $V_{уд}^{\Sigma Q} = 53,6 \div 70,8$  м<sup>3</sup>/ч · м<sup>2</sup>; удельный расход воздуха, необходимый для обеспечения заданной скорости воздуха в рабочей зоне при применении воздуховодов диаметром 500 и 630 мм:  $V_{уд-500}^{\omega} = 440$  м<sup>3</sup>/ч · м;  $V_{уд-630}^{\omega} = 550$  м<sup>3</sup>/ч · м.

Полученные значения позволили разработать методику расчета системы воздушораспределения с перфорированными текстильными воздуховодами. Методика предусматривает определение расхода воздуха, удовлетворяющего условию теплового баланса и обеспечения заданной скорости в рабочей зоне помещений.

Необходимый расход воздуха, соответствующий тепловому балансу помещений:

$$V^{\Sigma Q} = V_{уд}^{\Sigma Q} F_{пом} \text{ (м}^3\text{/ч)},$$

где  $V_{уд}^{\Sigma Q} = 53,6 \div 70,8$  м<sup>3</sup>/ч · м<sup>2</sup> при удельном теплопритоке  $q_{уд}$  23—32 Вт/м<sup>3</sup> (производительность предприятий 10—35 т/см).

Расход воздуха  $V^{\omega}$ , необходимый для создания заданной скорости в рабочей зоне  $\omega_{рз} = 0,15$  м/с, зависит от высоты помещений, высоты установки воздуховодов, способа воздушораспределения и диаметра воздуховодов. При высоте помещений  $h \leq 6$  м, высоте установки воздуховодов  $h_{ар} = 3,2 - 3,25$  м, предлагаемом способе воздушораспределения "сверху—вниз—вверх" и подаче воздуха через воздуховоды диаметром  $d_b = 500$  мм рекомендуемая скорость на входе в воздуховоды составляет  $\omega_{ар} = 6$  м/с, на выходе из отверстий



$\omega_0 = 3,75$  м/с. При подаче приточного воздуха через воздуховоды  $d_a = 630$  мм скорость  $\omega_{вк} = 4,6$  м/с, скорость  $\omega_0 = 2,9$  м/с.

Необходимый расход воздуха:

$$V^* = V_{уд}^* \ell_a n_a \quad (M^3/ч),$$

где  $\ell_a$  — длина воздуховода, м;

$n_a$  — количество воздуховодов;

$$n_a = \frac{B_{p,z}}{B_{p,z,1}},$$

где  $B_{p,z}$  — ширина рабочей зоны помещений, м;

$B_{p,z,1}$  — ширина приточной струи, создаваемой в рабочей зоне одним воздуховодом:  $B_{p,z,1} = (4,35 - 4,5)$  м — при диаметре  $d_a = 500$  мм;  $B_{p,z,1} = (5,2 - 5,4)$  м — при диаметре  $d_a = 630$  мм.

После сравнения полученных результатов  $V^{\Sigma Q}$  и  $V^{\infty}$  принимают расход воздуха, имеющий наибольшее значение. Общие потери напора воздуха в системе определяют с учетом удельных потерь  $\Delta P_{уд}$ . Последующие расчеты выполняют по общепринятой методике.

В шестой главе "Определение технико-экономических показателей предлагаемых технических решений" представлены результаты практического применения разработанных технических решений систем кондиционирования и воздухораспределения для сырьевого отделения производительностью 35 т/см. Сырьевое отделение (объединено с машинным и шприцовочным отделением) предназначено для изготовления вареных колбасных изделий и работает в 2 смены. Действующая система кондиционирования сырьевого отделения работает по схеме, приведенной на рис. 1, но увлажнение воздуха в холодное время года предусмотрено паром, а не водой.

Ниже в табл. 2 приведены технико-экономические показатели систем для варианта замены действующей системы на систему предлагаемой конструкции.

Таблица 2

Показатели	Система кондиционирования	
	действующей конструкции	предлагаемой конструкции
1. Производительность сырьевого отделения, т/см	35	35
2. Площадь, м <sup>2</sup>	18 × 24	18 × 24
3. Объем, м <sup>3</sup>	1814,4	1814,4
4. Общий теплоприток $\Sigma Q$ , кВт	57,5	57,5
5. Удельный теплоприток $q_{уд}$ , Вт/м <sup>3</sup>	31,7	31,7
6. Расход воздуха $V^{2Q}$ , м <sup>3</sup> /ч	30600	30600
7. Производительность по воздуху, V, м <sup>3</sup> /ч	33000	33000
8. Удельный расход воздуха полезный $V_{уд}^{\Sigma Q}$ , м <sup>3</sup> /ч · м <sup>2</sup> ,	70,8	70,8

Показатели	Система кондиционирования	
	действующей конструкции	предлагаемой конструкции
полный $V_{уд.}^{\Sigma Q}$ , $m^3/ч \cdot m^2$ ;	76,4	76,4
9. Капитальные затраты, т.р.	1282,7	1170,88
10. Эксплуатационные расходы, т.р.	508,3	246,2
в том числе		
на теплоту	192,6	-
на холод	136,4	105,4
на электроэнергию	134,4	83,4
11. Приведенные затраты, т.р.	1150	831,6
12. Ожидаемый экономический эффект, т.р.	-	318,4
13. Экономический эффект на 1 т сырья, р.	-	16

Для рассмотренного сырьевого отделения разработаны технические решения системы воздухораспределения с применением текстильных воздухопроводов предлагаемой конструкции и типовых перфорированных воздухопроводов серии ВПК.

В табл. 3 приведены технико-экономические показатели рассматриваемых систем.

Таблица 3

Показатели	Система воздухораспределения с перфорированными воздуховодами		
	текстильными		стальными оцинкованными $d_{cp} = 530$ мм
	$d_n = 500$ мм	$d_n = 630$ мм	
1. Расход воздуха $V$ , $m^3/ч$	33000	33000	33000
2. Количество воздухопроводов $n$	5	4	5
3. Общая длина воздухопроводов $l_b$ , м	75	60	75
4. Удельный расход воздуха $V_{уд.}^{\alpha}$ , $m^3/ч \cdot m$ .	440	550	440
5. Расход воздуха через один воздухопровод $V_1$ , $m^3/ч$	6600	8250	6600
6. Скорость приточного воздуха $\omega_0$ , м/с	3,9	3,1	3,5
7. Удельные потери напора $\Delta P_{перф}$ , Па/м	3,3	2,2	3,74
8. Потери напора в системах, Па	952	805	1020
9. Мощность вентилятора $N_b$ , кВт	16,0	13,3	17,4
10. Капитальные затраты, т.р.	256,5	245,7	300,3
11. Эксплуатационные расходы, т.р., в том числе	148,1	126,6	164,9

Показатели	Система воздушораспределения с перфорированными воздуховодами		
	текстильными		стальными оцинкованными $d_{cp} = 530$ мм
	$d_b = 500$ мм	$d_b = 630$ мм	
на электроэнергию	121,2	100,8	131,9
12. Приведенные затраты, т.р.	276,4	249,4	315,1
13. Годовой экономический эффект, т.р.	-	(65,7)	-

Из табл. 3 следует, что при внедрении системы с воздуховодами диаметром 630 мм ожидаемый экономический эффект составляет 27 т.р. по сравнению с системой, оборудованной воздуховодами аналогичной конструкции диаметром 500 мм и 65,7 т.р. по сравнению с системой, оборудованной типовыми воздуховодами ВПК. При длине воздухопроводов, указанной в п.3 табл. 3, ожидаемый экономический эффект соответственно составляет 360 р. и 876 р. на 1 м воздуховода.

### Основные результаты и выводы

1. Исследованы процессы тепловлажностной обработки воздуха в действующих центральных и центрально-местных системах кондиционирования. Установлено, что центрально-местные системы более просты по устройству, характеризуются меньшим расходом теплоты, но увеличенным расходом холода по сравнению с центральными действующими системами. Кроме того, системы не обеспечивают поддержание заданной влажности в помещениях.

2. Разработан способ кондиционирования, учитывающий особенности тепловлажностных характеристик помещений мясоперерабатывающих предприятий и позволяющий поддерживать необходимый температурно-влажностный режим в течение всего года.

3. Разработано техническое решение центральной системы кондиционирования, работающей по предлагаемому способу тепловлажностной обработки воздуха. На примере действующего предприятия выполнен анализ энергозатрат, подтверждающий целесообразность внедрения предлагаемой системы.

4. Выполнены исследования режимов работы систем воздухоораспределения, применяемых на мясоперерабатывающих предприятиях и обеспечивающих вертикальную подачу приточного воздуха по способу "сверху — вниз" (удаление отработанного воздуха из рабочей зоны). Системы характеризуются повышенным расходом воздуха, необходимым для погашения теплоизбытков, поступающих в помещения. Предложены технические решения систем, оборудованных перфорированными воздуховодами и работающих по способу "сверху — вниз — вверх". Системы характеризуются уменьшением расхода воздуха на 30% ( $V_{уд. предл.}^{\Sigma Q} = 0,7 V_{уд. л.}^{\Sigma Q}$ ).

5. Выполнены исследования режимов работы систем распределения воздуха с типовыми и текстильными перфорированными воздуховодами. В результате определен расход воздуха, необходимый для создания заданной скорости в рабочей зоне помещений. Установлено, что системы с перфорированными текстильными воздуховодами позволяют уменьшить расход воздуха на 20%.

6. Разработаны конструкции текстильных воздухопроводов, имеющих нижнюю перфорированную поверхность и позволяющие обеспечить скорость воздуха в рабочей зоне помещений  $\omega_{p,3} = 0,15$  м/с в рекомендуемом диапазоне (0,13 — 0,17 м/с).

7. Определены значения удельного расхода воздуха, необходимого для создания заданной скорости в рабочей зоне помещений и обеспечивающего подачу через 1 м перфорированного текстильного воздуховода.

8. Разработана экспериментальная установка, позволяющая определить на основании типовой методики, применяемой при исследовании воздухо-распределителей различной конструкции, коэффициент местного сопротивления  $\xi_{T,500}$  перфорированного текстильного воздуховода диаметром 500 мм. Дополнительно значения коэффициента местного сопротивления определены расчетным способом по методике Талиева В.Н., разработанной для перфорированных воздухопроводов с различными видами перфорации и конструкций воздухопроводов. Расхождение значений коэффициента  $\xi_{T,500}$  составляет не более 6%. Аналогично определены значения коэффициента местного сопротивления для воздуховода  $d_a = 630$  мм. Расхождение значений  $\xi_{T,630}$  составляет 10%.

9. Разработана методика расчета систем воздухораспределения с перфорированными текстильными воздуховодами предлагаемой конструкции.

10. Определен ожидаемый экономический эффект на 1 т мясной продукции при внедрении предлагаемой системы кондиционирования ( $E_{\text{год уд}} = 16$  р.).

11. Определен ожидаемый экономический эффект на 1 т мясной продукции при внедрении системы воздухораспределения с перфорированными текстильными воздуховодами диаметром 630 мм. Эффект составляет 27 т.р. при сравнении с системой, оборудованной перфорированными текстильными воздуховодами диаметром 500 мм и 65,7 т.р. — при сравнении с системой, оборудованной типовыми перфорированными воздуховодами. Экономический эффект на 1 м воздуховода составляет соответственно 360 р. и 876 р. При пересчете на 1 т выпускаемой продукции экономический эффект соответственно составляет 1,3 р. и 3,1 р.

Основное содержание диссертационной работы изложено в следующих работах:

1. Базилев Р.В. Распределение воздуха в производственных помещениях пищевых предприятий. III международная научная конференция студентов и молодых ученых "Живые системы и биологическая безопасность населения". МГУПБ, 2004. — с. 180-182.

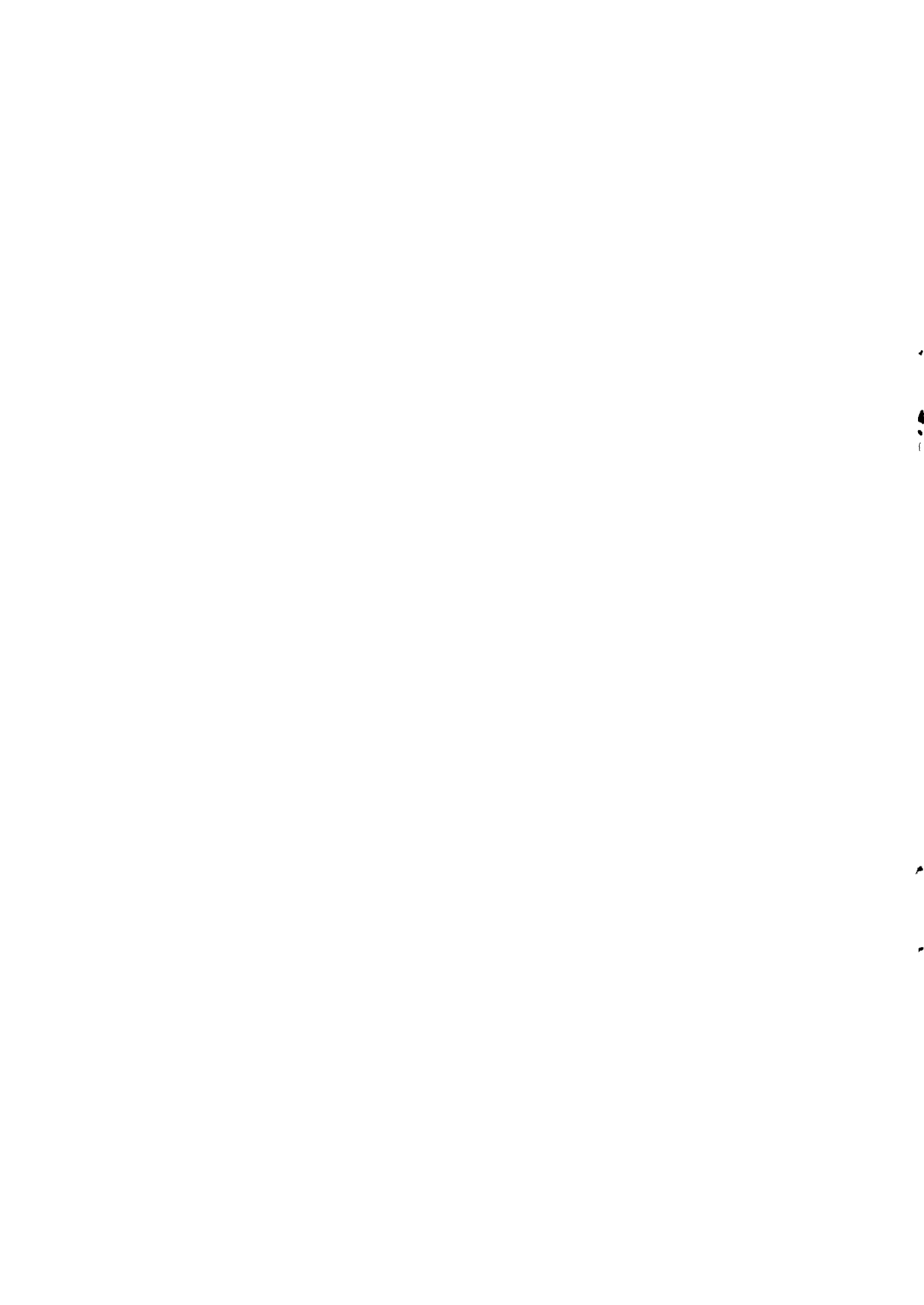
2. Базилев Р.В., Малова Н.Д. Анализ систем кондиционирования и вентиляции основных производственных помещений мясоперерабатывающих предприятий. Сборник научных трудов МГУПБ "Повышение энергоэффективности техники и технологий в перерабатывающих отраслях АПК". МГУПБ, 2004. —с. 29-32.

3. Малова Н.Д., Перова Н.И., Базилев Р.В. Изменение расхода воздуха в технологических системах охлаждения и кондиционирования. Сборник научных трудов МГУПБ "Повышение энергоэффективности техники и технологий в перерабатывающих отраслях АПК". МГУПБ, 2004. — с. 208-212.

4. Базилев Р.В. "Анализ систем кондиционирования воздуха мясоперерабатывающих предприятий". Раздел 2 отчета по госбюджетной НИР № 4-1-01В (с. 25-33), выполненной на тему: "Исследование систем управления установками кондиционирования мясоперерабатывающих предприятий" (авт.: Малова Н.Д., Перова Н.И., Базилев Р.В.). ВТЦ РФ. № гос. регистрации 01.2001.17094.2004. — 2005, 61с.

5. Малова Н.Д., Базилев Р.В., Ковальчук Е.С. Распределение воздуха в производственных кондиционируемых помещениях (для студентов холодильной специальности 140504). Учебное пособие. М., МГУПБ, 2005, 80 с.

6. Малова Н.Д., Базилев Р.В. и др. Способ кондиционирования воздуха тепловлагонапряженных помещений. Заявка на патент 2005 122 306/06, 14.07.2005. Дата публикации заявки 20.01.06; бюл. № 02.



Подписано в печать 30.03.2006 г. Формат 60x84 1/16.  
Печать лазерная. Усл.п.л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ 2/93.  
МГУПБ. 109316, Москва, ул. Талалихина, 33  
ООО «Полисувенир» 109316, Москва, ул. Талалихина, 33.  
Тел. 677-03-86

2006A  
7531

**■ - 7531**