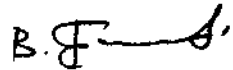


На правах рукописи



БИРЮКОВ Владимир Викторович

**ТЕПЛООБМЕННЫЕ КОНДЕНСАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ
ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ**

Специальность: 05.23.03. – «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование
воздуха, газоснабжение и освещение»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ростов-на-Дону

2005

Работа выполнена в Ростовском государственном строительном университете

Научный руководитель: заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
Новгородский Евгений Евгеньевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Василенко Александр Иванович

кандидат технических наук, доцент
Мещеряков Сергей Викторович

Ведущая организация: Кубанский государственный аграрный
университет (КубГАУ)

Защита состоится 17 мая 2005 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета КР 212.207.09 в Ростовском государственном строительном университете по адресу: 344022, Ростов-на-Дону, ул.Социалистическая, 162

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГСУ.

Автореферат разослан 14 апреля 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук,
профессор

Страхова
Наталья Анатольевна

2006-4
4202

2132452

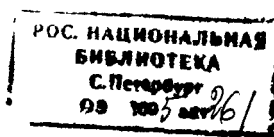
3

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время перед животноводческой отраслью России стоит целый комплекс проблем, среди которых одно из важных мест занимает проблема экономии энергетических ресурсов. Дело в том, что в свое время в стране были построены сотни крупнейших комплексов по содержанию свиней и КРС, работа которых была рассчитана на дешевизну энергетических и прочих видов ресурсов. Однако в период рыночных реформ отношение к показателям энергосбережения значительно изменилось и стало ясно, что подобные комплексы не отвечают современным требованиям энергосбережения. Практически все они имеют чрезвычайно низкий уровень теплозащиты наружных ограждений, дорогостоящие, но малоэффективные системы отопления и вентиляции. Данные факторы в совокупности значительно снижают конкурентоспособность отрасли, что проявляется в остановке работы подавляющего большинства крупных животноводческих комплексов, увеличении доли импортной продукции и перемещении процесса содержания животных в личные подсобные и фермерские хозяйства.

В то же время очевидно, что продовольственная безопасность России вряд ли может быть обеспечена поставками животноводческой продукции только мелкими хозяйствами и импортом. Рано или поздно эту проблему придется решать и очень важно не бросаться в крайности: то ли назад к дедовской технологии выращивания скота, то ли к скорейшему строительству новых и восстановлению старых комплексов. Думается, что второй путь более предпочтительный, но при резком росте цен на энергоносители, строительные материалы и технологическое оборудование он требует коренного изменения прежней концепции проектирования и строительства животноводческих помещений, а с нею и изменений в подходах к обеспечению микроклимата в них.

Между тем отечественная наука и практика имеют значительные достижения в разработке различного рода энергосберегающих систем обеспечения оптимального микроклимата в животноводческих помещениях, которые до поры не были востребованы, в частности теплообменных конденсационных систем вентиляции (ТКСВ). Теперь же после соответствующей



коррекции с учетом последних достижений науки и техники в этой области, на наш взгляд, они становятся весьма актуальными и полезными.

Исследования проводились по программе гранта по фундаментальным исследованиям в области технических наук (подраздел «Проблемы создания, развития и эксплуатации систем жизнеобеспечения»), в соответствии с программами МНТП «Архитектура и строительство» в рамках тем: «Эффективные схемы энергоснабжения зданий и сооружений» и «Системы автономного энергоснабжения производственных зданий», а также по программе «Разработка и реализация федеральной региональной политики в области науки и образования» в рамках темы: «Критические технологии энергосбережения зданий и сооружений».

Основная идея работы состоит в том, что требуемый воздухообмен животноводческого помещения можно значительно сократить, если осуществить процесс осушки влажного воздуха помещения путем конденсации водяных паров на холодной поверхности теплообменного воздуховода с последующим организованным удалением конденсата.

Объектами исследования являются традиционные и теплообменные конденсационные системы вентиляции животноводческих помещений.

Предмет исследований – процессы тепло- и влагообмена с конденсацией влаги из воздуха животноводческого помещения на холодной поверхности различных конструкций теплообменных воздухопроводов из полиэтиленовой пленки.

Цель работы – научно-практическое обоснование целесообразности применения конденсационных систем вентиляции в животноводческих зданиях и разработка методики их расчета.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели потребовалось решить ряд частных задач:

1. Выполнить системный анализ традиционных и энергосберегающих систем отопления и вентиляции животноводческих помещений, чтобы оценить степень их комплексного воздействия на формирование тепловой обстановки помещения с учетом современных требований ресурсо- и энергосбережения.

2. Дополнить и развить аналитический подход к определению составляющих теплового баланса тела животного в процессе его теплообмена с воздушной средой и полом.

3. Разработать математическую модель тепловлажностного режима неотапливаемого животноводческого помещения и на ее основе выполнить прогноз возможных сочетаний температурно-влажностных параметров микроклимата в широком диапазоне наружных температур для холодного периода года.

4. Исследовать наблюдаемые при конденсационной вентиляции процессы тепло- и влагообмена на поверхности, имеющей температуру ниже точки росы.

5. Установить закономерности, влияющие на тепло- и влагоулавливающую способность воздуховода-конденсатора из полиэтиленовой пленки, и подтвердить их экспериментально.

6. Дать технико-экономическую оценку существующим техническим решениям ТКСВ и разработать более совершенные конденсационные устройства.

7. Разработать методику расчета и оптимизации конусного воздуховода-конденсатора, совмещенного с конструкцией кровли для энергосберегающего модуля круглой формы.

Методы исследования. В работе использованы: методы математического моделирования теплообмена животного с окружающей средой, а также процессов тепло- и влагообмена на холодной поверхности воздуховода-конденсатора; методы численного моделирования сформулированных математических моделей; современные методы экспериментальных исследований для определения характеристик тепло- и влагообмена на конденсирующей поверхности воздуховода, теплообменных процессов в грунте и зоне контакта его с телом животного; методы натурных исследований параметров микроклимата в животноводческих помещениях.

Научная новизна наиболее существенных результатов работы заключается в системном анализе процессов тепло- и влагообмена в животноводческих помещениях, что позволило обосновать целесообразность устройства в них ТКСВ различного исполнения, способных при удовлетворительных теплотехнических характеристиках здания обеспечить допустимые параметры микроклимата в холодный период года даже без дополнительного источника теплоты.

В процессе исследований решены следующие аспекты проблемы:

- разработан алгоритм прогнозирования ТВР неотапливаемого помещения, основанный на аналитическом определении тепло- и влагопоступлений от животных в зависимости от совокупности тепловых параметров микроклимата и условий содержания скота;

- показана необходимость увеличения расчетных теплопотерь через полы, определенных по стандартной методике;

- предложены новые схемотехнические решения конденсационных устройств, удовлетворяющих требованиям industriальности изготовления и удобства монтажа;

- развита и дополнена методика расчета тепло- и влагоулавливающей способности ТКСВ трубного типа;

- разработана аналитическая модель и выполнены детальные расчеты тепло- и влагообменных процессов для конусного воздуховода-конденсатора, совмещенного с конструкцией кровли;

- доказана необходимость устройства переменной толщины межстропильного пространства для прохода приточного воздуха при монтаже конусного воздуховода-конденсатора и оптимизированы его габаритные размеры.

Достоверность полученных результатов определяется корректностью постановки исследуемых задач, обоснованностью принятых допущений, применением современных методов теплофизических измерений, а также сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Практическая значимость работы состоит в:

- обосновании целесообразности применения ТКСВ различного исполнения в достаточно утепленных животноводческих помещениях для значительного снижения их энергоемкости и повышения конкурентоспособности животноводческой продукции;

- доведении результатов исследований до разработки конкретных алгоритмов и программ расчета ТВР и ТКСВ животноводческих помещений на ЭВМ;

- разработке новых схемотехнических решений, позволяющих улучшить количественные и качественные характеристики конденсационных устройств.

Реализация результатов работы. Научные положения, методология проектирования, алгоритмы и программы расчетов ТВР и ТКСВ используются в исследовательской и проектной практике ряда организаций (Кубанский государственный аграрный университет, ЗАО «СевкавНИПИАгропром» и др.)

Результаты исследований использованы при разработке проекта энергосберегающего круглого модуля для содержания свиней, который принят к внедрению в ЗАО «Восход» Константиновского района Ростовской области.

Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе в курсе «Энергосбережение в системах теплогасоснабжение и вентиляции» для специальности 290700 – «Теплогасоснабжение и вентиляция».

На защиту выносятся:

- способ снижения энергопотребления животноводческими помещениями в холодный период года;
- схемотехнические решения ТКСВ, позволяющие улучшить их качественные и количественные характеристики;
- результаты исследования процессов тепло- и влагообмена на поверхности, имеющей температуру ниже точки росы;
- методика расчета воздуховода-конденсатора, вписанного в конструкцию конусного покрытия.

Апробация диссертационной работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях Ростовского государственного строительного университета «Строительство-2004», «Строительство-2005», на международной конференции «Критические технологии теплоснабжения и вентиляции зданий и сооружений» (РГСУ, 2005), на научно-практических семинарах кафедр отопления, вентиляции и кондиционирования и теплогасоснабжения РГСУ.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 11 статей.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованной литературы и приложения. Диссертация изложена на 143 страницах, иллюстрирована 31

рисунком, 11 таблицами. Список использованной литературы включает 137 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследуемой темы, отмечены ключевые проблемы энергосбережения при эксплуатации животноводческих помещений на современном этапе развития экономики страны, представлены цель и задачи исследования.

Первый раздел «Анализ энергосберегающих систем отопления и вентиляции животноводческих помещений» посвящен обзору и критическому анализу публикаций по влиянию параметров микроклимата на физиологическое состояние животных и исследованию взаимосвязи между системой содержания животных, временем года, инвестиционным климатом в стране и функциональными требованиями, предъявляемыми к системам отопления и вентиляции животноводческих комплексов. Сделан вывод, согласно которому высокопродуктивные животные нуждаются в создании более благоприятных условий кормления и содержания по сравнению с малопродуктивными. В то же время попытки создания некой универсальной системы вентиляции, способной в любое время года учесть конкретную строительно-планировочную, технологическую и зооигиеническую специфику животноводческого помещения и одновременно соответствовать требованиям экономической целесообразности, пока не имеют под собой прочного научного обоснования. Очевидно, что в российских условиях мечтать об обеспечении новейшими техническими средствами оптимального микроклимата для животных сейчас, по меньшей мере, наивно. Более реально найти вариант, который бы позволил при разумных материальных, финансовых и энергетических затратах обеспечить, если не оптимальный, то хотя бы допустимый микроклимат в холодное время года. В этот период в животноводческих помещениях, как правило, наблюдаются низкие температуры и высокая влажность воздуха в сочетании с такой вредной газообразной примесью, как аммиак. Это создает в них весьма неблагоприятные условия для содержания скота и агрессивную среду, способствующую быстрому разрушению строительных конструкций и технологического оборудования. По

указанным причинам требуемый воздухообмен в животноводческих помещениях определяется из условия ассимиляции избыточной влаги. Однако он оказывается настолько значительным, что для компенсации тепловых потерь с уходящим воздухом требуется такой источник тепловой энергии, который, как правило, в сельской местности либо отсутствует, либо его использование невыгодно. Руководствуясь опытом развитых стран, лучше обеспечить минимально возможный и экономически обоснованный воздухообмен для «средних» условий эксплуатации, нежели при проектировании и строительстве принимать заведомо убыточный, но формально позитивный вариант вентиляции, рассчитанный для экстремальных условий эксплуатации.

К сожалению, прямой перенос зарубежного опыта в российские условия пока невозможен: наши животноводческие постройки имеют чрезвычайно низкую теплозащиту наружных ограждений, с одной стороны, и расточительные нормы воздухообмена – с другой. Совершенно очевидно, что в такой ситуации обеспечить с минимальными энергетическими издержками требуемый микроклимат весьма проблематично.

Для того чтобы определить возможные пути решения этой проблемы, сначала был рассмотрен ряд вопросов использования теплоты уходящего воздуха с помощью различного рода теплообменников. Однако все они оказались чрезмерно дорогими, требуют высокого уровня технического обслуживания, четкого соблюдения заданных температур воздуха в помещении и технологического регламента содержания животных, которые практически невозможно обеспечить в реальных условиях эксплуатации. В результате до сих пор ни один вариант теплообменника, предназначенного для использования в животноводческих помещениях, так и не вышел из разряда экспериментального образца.

Рассмотрены и принципиально иные конструкции теплообменников, в частности, использующие низкопотенциальную энергию грунта (ГСТВ). Но затраты на их сооружение также оказываются несопоставимыми с достигаемым экономическим эффектом.

Проведена оценка эффективности использования для нужд отопления и вентиляции животноводческих помещений энергии солнца, ветра и биологических отходов животноводческого производства. Установлено, что из массы существующих на этом пути проблем главной следует считать проблему обеспечения крупных и долговременных инвестиций в альтернативную энергетику, которую наша страна пока не может решить.

В конечном итоге поиск нетрадиционных, но достаточно эффективных и экономичных решений остановлен на использовании процесса осушки воздуха путем конденсации водяных паров на холодной поверхности. Еще в 70-х гг. XX в. применялись системы вентиляции, в основу работы которых был положен подобный принцип, и они неплохо зарекомендовали себя.

Основным элементом наиболее известного варианта конденсационной вентиляции является теплообменный воздухопровод-конденсатор из полиэтиленовой пленки, имеющий сечение равностороннего треугольника (рис. 1). Внутри него движется наружный воздух, который нагревается за счет теплообмена с воздухом помещения, а затем через отверстия перфорации на конечном участке поступает в здание. Одновременно на наружной поверхности воздухопровода образуется конденсат, стекающий в подвесной полиэтиленовый желобок. Таким образом, с удалением влаги из места ее образования значительно сокращается расход тепловой энергии на борьбу с ней. По сути дела своеобразный «попутный ветер» помогает избавиться от необходимости привлекать традиционные и альтернативные источники энергии для компенсации тепловых потерь на вентиляцию помещений. Дополнительно к энергетическому эффекту при этом значительно сокращается выброс вредных патогенных микроорганизмов и примесей в окружающую среду.

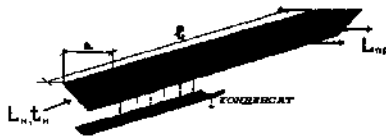


Рис. 1. Схема и принцип работы теплообменного воздухопровода-конденсатора

Вместе с тем изучение имеющихся конструктивных решений подобных устройств показывает их весьма низкие индустриальные и монтажные качества. Кроме того, существующие рекомендации не позволяют выполнять расчеты для обоснования иных технических решений, например конденсаторов куполообразной формы. Не учитываются в них и последние достижения в области теории тепломассообмена животного с окружающей средой, что указывает на необходимость дальнейших исследований в данном направлении.

Во втором разделе «Исследование процессов тепломассообмена, связанных с работой ТКСВ» развивается аналитический подход к определению составляющих теплового баланса тела животного в процессе его теплообмена с окружающей средой.

Если двигаться к цели энергосбережения, то на пути к ней обязательно предстоит осуществить процедуру детального анализа тепло-влажностного режима (ТВР) рассматриваемого помещения, в которой доминирующую роль играет теплопродукция животных $Q_{ж}$, зависящая от комплекса факторов:

$$Q_{ж} = f(P, x, t_{в}, \varphi_{в}, V_{в}, t_{R}, \phi_{ж}, t_{н}, \varphi_{н}, \tau_{пж}, \tau_{пол}, \dots, R_{ст}, R_{покp}, R_{пол}), \quad (1)$$

где P, x – масса и вид животного; $t_{в}, \varphi_{в}, V_{в}, t_{R}$ – соответствующие параметры тепловой обстановки помещения: температура, относительная влажность, подвижность воздуха и радиационная температура помещения; ϕ – функция поведения животного; $t_{н}, \varphi_{н}$ – температура и относительная влажность наружного воздуха; $\tau_{пж}, \tau_{пол}$ – температура поверхности тела животного и пола, участвующего в теплообмене с ним; $R_{ст}, R_{покp}, R_{пол}$ – приведенные термические сопротивления стен, покрытия, пола.

К сожалению, имеющиеся в настоящее время нормативные материалы по теплопродукции для различных видов и масс животных учитывают влияние лишь одного параметра – температуры окружающего воздуха. Мало того, при сопоставлении отечественных норм с нормами, принятыми за рубежом, выясняется, что теплопродукция «русских» свиней и КРС одной массы и вида при прочих равных условиях порой в 1,5–2 раза превосходит аналогичные показатели «зарубежных» животных. Объяснить эти расхождения можно лишь тем, что отечественные нормы базируются на данных испытаний животных в климатических камерах при

идеальных условиях кормления и содержания, а в реальных условиях их теплопродукция скорее всего приближается к зарубежным показателям.

Для решения этого вопроса на основе закона сохранения энергии рассмотрено уравнение теплового баланса животного с окружающей средой:

$$M = Q_k + Q_a + Q_m + Q_{\text{дых}} + Q_{\text{доп}} + Q_{\text{исп}}, \quad (2)$$

где M – метаболизм (теплопродукция); Q_k , Q_a , Q_m , $Q_{\text{дых}}$, $Q_{\text{доп}}$, $Q_{\text{исп}}$ – соответственно потери тепла за счет конвекции, лучистого теплообмена, теплообмена с полом, дыхания, продуктов твердого обмена, испарения.

В соответствии с теорией тепломассообмена составлены и апробированы уравнения, определяющие в зависимости от комплекса тепловых параметров микроклимата и условий содержания составляющие теплопродукции животных (свиней и КРС). Установлено, что из указанных в уравнении (2) слагаемых, наименее изучены процессы теплообмена животного с полом Q_m . В этой связи исследована модель процесса теплопередачи через три характерные зоны пола двухрядного коровника (рис.2) с использованием дифференциального уравнения:

$$\frac{\partial T(x, y, \tau)}{\partial y} = a \left[\frac{\partial^2 T(x, y, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, \tau)}{\partial y^2} \right]. \quad (3)$$

при соответствующих начальных и граничных условиях

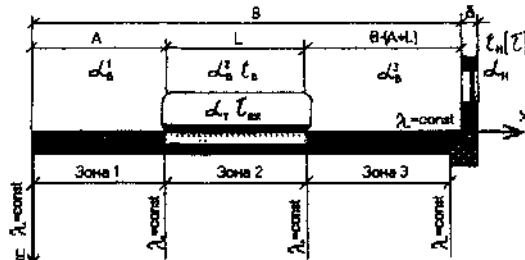


Рис.2. Расчетная схема к математической модели процесса теплопередачи через полы животноводческого помещения

Расчет температурных полей показал существенное отличие распределения температур в массиве грунта под животноводческим и обычным зданием, что лишний раз подтверждает справедливость мнений о неполном соответствии стандартного метода расчета теплотерь специфике животноводческих помещений.

Для определения степени достоверности результатов численного моделирования проведены натурные исследования (рис.3), которые убеждают в необходимости увеличения на 15–20 % расчетных теплотерь через полы, определенных по стандартной методике.

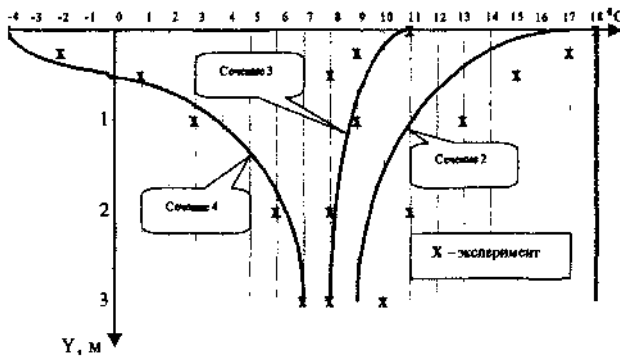


Рис.3. Сопоставление данных расчета температурного поля в разных сечениях под полом животноводческого здания с результатами натурных исследований

С учетом выполненного анализа разработан алгоритм прогнозирования ТВР неотапливаемого помещения, в основе которого лежит решение системы уравнений для определения балансовой температуры внутреннего воздуха t_n :

$$t_n = \frac{[1,024t_n - 2530(d_n - d_n)] W_{изб} + 3600Q_{изб}(d_n - d_n)}{1,024W_{изб}} \quad (4)$$

где $Q_{изб}$, $W_{изб}$ – тепло- и влагоизбытки помещения; d_n , d_n – соответственно влагосодержание внутреннего и наружного воздуха.

Достаточно хорошо согласуемые с опытными данными расчеты по указанному алгоритму (рис.4) показывают, что в неотапливаемых животноводческих зданиях без организации процесса регулируемой конденсации

содержащихся в нем водяных паров невозможно обеспечить допустимые параметры микроклимата при низких наружных температурах.

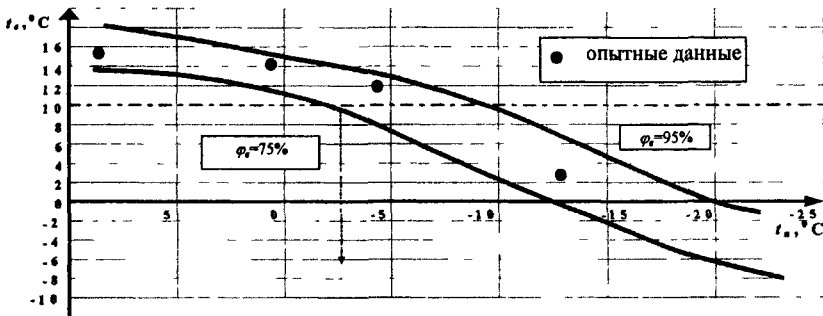


Рис.4. Прогноз сочетаний температуры и относительной влажности воздуха в типовом коровнике на 200 голов

Эти выводы указывают на целесообразность проведения детального анализа процессов тепло- и влагообмена на поверхности, имеющей температуру ниже точки росы. В результате его проведения установлено, что реальные процессы тепло- и влагообмена, составляя одно диалектическое единство, затрудняют математическое описание задачи даже в тех случаях, когда не рассматривается полная картина явлений массопереноса. Тем не менее, если не учитывать трансцендентный характер зависимости между влагосодержанием, температурой и давлением насыщения при фазовых переходах воды из одного состояния в другое, то ориентировочное количество влаги, которую необходимо сконденсировать на холодной теплообменной поверхности W_k , балансовый массовый воздухообмен помещения G_s и мощность дополнительного источника теплоты $\Delta Q_{дон}$ можно определить по формулам, выведенным из «закона прямой линии»:

$$W_k^P = [\varepsilon_n W_{изб} - 3600 Q_{изб}] / (\varepsilon_n + 2448); \quad (5)$$

$$G_s = (W_{изб} - W_k) / [1000 (d_s - d_n)]; \quad (6)$$

$$\Delta Q_{дон} = [\varepsilon_n W_{изб} - 3600 Q_{изб} - (\varepsilon_n + 2448) W_k] / 3600, \quad (7)$$

где ε_n — луч процесса помещения; W_k — реальное количество «уловленной» влаги.

Для определения методом последовательных приближений интенсивности оседания влаги на i -й охлажденной поверхности $w_{ки}$, $г/м^2ч$, рекомендуется использовать скорректированную формулу Дальтона:

$$w_{ки} = \frac{\alpha_{ок}^{ix} \xi_k^{ix}}{0,2552} (\varphi_{\sigma} P_{\sigma}^n - P_{1ix}^n), \quad (8)$$

где $\alpha_{ок}^{ix}$ – коэффициент теплоотдачи конвекцией между поверхностью с температурой t_{1ix} и воздухом помещения; ξ_k^{ix} – локальное значение коэффициента влаговыпадения; P_{1ix}^n , P_{σ}^n – парциальное давление насыщения при t_{1ix} и при t_{σ} .

В соответствии со схемой на рис.5 с использованием математической модели процессов тепло- и массообмена, исследованы закономерности, определяющие тепло- и влагоулавливающую способность воздуховода-конденсатора трубного типа из полиэтиленовой пленки

Из рис. 5 следует, что в результате теплообмена воздуха помещения с поверхностью канала по ходу движения воздушного потока G_a последовательно образуется три участка: *инееобразования* длиной $L_{ин}$, на котором температура наружной поверхности канала t_1 ниже точки замерзания конденсата $t_{зам}$; *конденсации водяных паров* в жидкой фазе длиной $L_{ок}$, когда $t_{зам} < t_1 \leq t_p$; *сухого теплообмена* протяженностью $L_{окс}$, где $t_1 > t_p$. Каждый из указанных участков имеет определенные особенности, которые необходимо учитывать при анализе процессов тепло-массообмена.

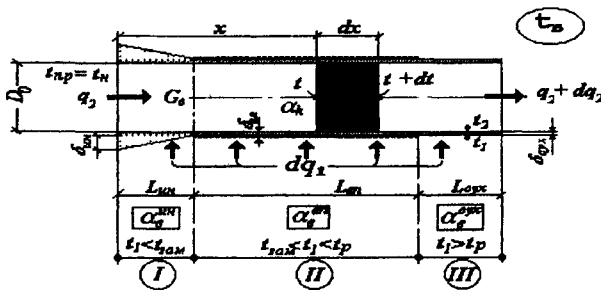


Рис. 5. Расчетная схема элемента воздуховода-конденсатора

I – участок образования инея; II – участок конденсации (мокрого теплообмена); III – участок сухого теплообмена

На схеме эти особенности отражены соответствующими коэффициентами тепловосприятия $\alpha_e^{ин}$, $\alpha_e^{ст}$, $\alpha_e^{ср}$; различными длинами участков $L_{ин}$, $L_{ст}$, $L_{ср}$ и толщиной стенок $\delta_{ин}$, $\delta_{ст}$, $\delta_{ср}$. После соответствующих преобразований заданной аналитической модели получены формулы для определения локальной температуры воздуха t_i , наружной поверхности t_{1i} , по всей длине канала, а также максимального значения толщины слоя инея в начале канала $\delta_{ин}^{max}$ и длины участка инеобразования:

$$t_i = \sum_{i=1}^3 \left[t_e - (t_e - t_{i-1}) e^{-A_i x_i} \right], \quad (9)$$

$$t_{1i} = B_{1i} t_i + B_{2i}, \quad (10)$$

$$\delta_{ин}^{max} = \frac{-\lambda_{ин} (\alpha_e t_e + \alpha_k t_n)}{\alpha_k \alpha_e t_e}, \quad (11)$$

$$L_{ин} = \frac{c_e G_e (\alpha_e + \alpha_k) \ln \frac{\alpha_k (t_e - t_n)}{t_e (\alpha_e + \alpha_k)}}{2\pi D_0 \alpha_e \alpha_k}. \quad (12)$$

где $A_i = \pi D_0 B_i / c_e G_e$; $B_i = 2K'_i \alpha_k / (K'_i + \alpha_k)$; $B_{1i} = \alpha_k / (K'_i + \alpha_k)$; $B_{2i} = K'_i t_n / (K'_i + \alpha_k)$; $\lambda_{ин}$ — коэффициент теплопроводности слоя инея.

Для проверки достоверности приведенных выше зависимостей был проведен соответствующий эксперимент, который в целом подтвердил их адекватность реальным процессам и позволил прийти к выводу, что основная часть влаги (до 75 % от суммарного количества) при наиболее вероятных параметрах внутренней и наружной среды улавливается всего третью длины конденсатора.

В третьем разделе «Совершенствование конденсационных систем вентиляции для помещений прямоугольной формы» приводятся различные технические решения ТКСВ, которые основаны на применении теплообменных воздухопроводов треугольного поперечного сечения из обычной полиэтиленовой пленки с подвесным желобком. Как правило, для их реализации требуется очень много оцинкованной проволоки, угловой стали для траверс, разных крючков для подвески воздухопроводов и желобков и т.п. Кроме того, значительную сложность при изготовлении и монтаже ТКСВ представляет процесс формирования

соединительных отводов и желобков из полиэтиленовой пленки с обеспечением необходимого уклона для стока конденсата. Поэтому в каждом конкретном случае требуется заново разрабатывать соответствующие технологические приемы и инженерные подходы, что чрезвычайно затрудняет унификацию элементов системы и усложняет путь к индустриальному изготовлению и монтажу ТКСВ.

С целью компенсации вышеуказанных недостатков автором предлагаются иные технические решения. Одно из них основано на применении новых пленочных материалов и технологий их скрепления, что позволяет организовать индустриальное производство воздухопроводов-конденсаторов малого сечения (200–250 мм) и отказаться от установки мощных вентиляторов с магистральными металлическими воздухопроводами. В этом случае каждый воздухопровод снабжается бытовым оконным вентилятором и подвешивается на легком веревочном тросе не вдоль, а поперек здания (рис.6) вместо мощного металлического троса и анкерных креплений, используемых при подвеске обычных треугольных конструкций.

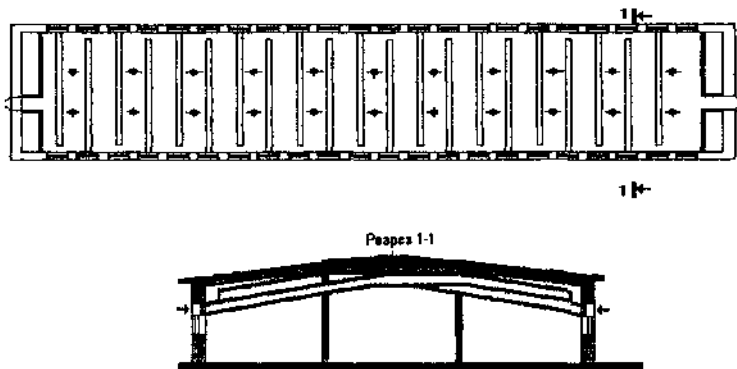


Рис.6. Вариант ТКСВ с поперечным расположением конденсаторов

Индустриальный вариант ТКСВ может быть реализован и другим путем, причем без использования механических побудителей тяги. На рис. 7 показана схема предлагаемого автором устройства, в котором приточный канал 2 образуется в виде

зазора между гофрированной вертикальной перегородкой 4 и внутренней поверхностью наружного ограждения 3.

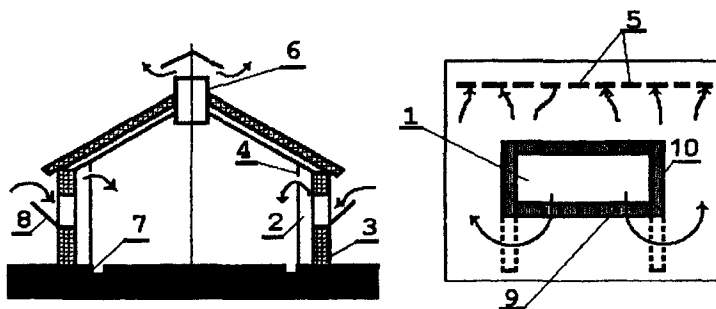


Рис. 7. Схема устройства естественной конденсационной вентиляции:

- 1 - окно; 2 - зазор; 3 - наружная стена; 4 - гофрированная перегородка;
5 - воздуховыпускные отверстия; 6 - вытяжная шахта; 7 - сток конденсата; 8 - фрамуга окна;
9 - отверстия под подоконником; 10 - рейки

Сравнение финансовых затрат на восстановление и эксплуатацию типовой вентиляции с газовоздушным подогревателем и реализацию различных вариантов ТКСВ: трубной – с проволочным каркасом для треугольных воздухопроводов; «модульной» – с поперечным расположением воздухопроводов-конденсаторов малого диаметра; «естественной» – с применением гофрированных перегородок между наружной стеной и помещением, представленное в табл.1, показывает, что затраты на реализацию ТКСВ в 4–6 раз ниже, чем на типовую систему.

Таблица 1

Ориентировочный расчет затрат на отопление и вентиляцию типового свиарника на 1500 голов

№	Основные статьи затрат	Стоимость вариантов, \$			
		Типо- вая	ТКСВ		
			Трубная	Модульная	Естественная
1	Новое оборудование	12090	2735	1530	2710
2	Утепление помещения	-	1250	1250	1550
3	Эксплуатационные расходы	10980	1250	480	-
4	Зарплата с ЕСН (36,5%)	1850	620	450	600
5	Накладные расходы	1665	560	400	540
	ВСЕГО:	26595	6415	4110	5400

Четвертый раздел «Оптимизация теплообменной конденсационной вентиляции энергосберегающего модуля круглой формы» посвящен разработке алгоритма расчета конусного воздуховода-конденсатора, совмещенного с конструкцией кровли круглого свинарника для фермерских хозяйств (рис.8).

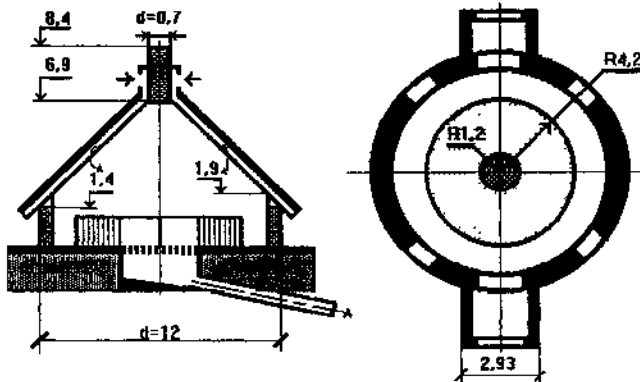


Рис. 8. Общий вид и разрез энергосберегающего модуля для содержания 70–100 голов свиней

Согласно расчету, несмотря на хорошие теплозащитные характеристики модуля, традиционный подход не позволяет обеспечить в нем оптимальные параметры микроклимата без дополнительного источника тепловой энергии (ДИЭ) мощностью около 10 кВт. Однако если сконденсировать и удалить из помещения в течение часа примерно 3,7 кг влаги, то можно обойтись без ДИЭ или существенно уменьшить его мощность. Следовательно, основная задача состоит в том, чтобы при принятых конструктивных и технологических параметрах модуля создать такие условия, которые бы позволили обеспечить заданную интенсивность конденсации водяных паров, содержащихся в воздухе помещения.

Вписанный в конструкцию покрытия конденсатор принимает форму усеченного конуса. Он формируется натяжением полиэтиленовой пленки на межстропильное пространство. Холодный наружный воздух в количестве $L_{гр}$ проходя со скоростью $W_{гр}$ создает определенные условия для конденсации водяных паров на поверхности

конденсатора. Благодаря большому углу ската кровли ($\beta = 45^\circ$), конденсат стекает к нижнему основанию конуса в водосборник и утилизируется (рис.9).

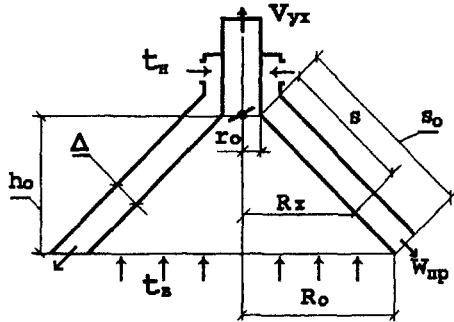


Рис. 9. Расчетная схема конусного воздуховода-конденсатора

В основе методики расчета подобного устройства лежит анализ процессов тепло- и влагообмена на поверхности, имеющей температуру ниже точки росы воздуха помещения, выполненный ранее. Но здесь из-за ограниченности выбора габаритных размеров конденсатора без применения специальных мер обнаруживается большой диапазон изменений скоростей приточного w_{np} и уходящего v_{yx} воздуха, что приводит к появлению двух режимов течения: турбулентного и ламинарного. Отсюда повышенное внимание уделено определению границ теплообменных поверхностей для указанных режимов и соответствующих им коэффициентов теплообмена.

«Критическое» сечение канала $S_{кр}$, м, где заканчивается турбулентный режим, а также коэффициент теплоотдачи конвекцией от внутренней стенки канала приточному воздуху на турбулентном пространстве α_{np}^* определяются формулами:

$$S_{кр} \leq [(L_{np} - 173 \Delta \cos \beta + 55 N a) / (345 \sin \beta)] - S_0; \quad (13)$$

$$\alpha_{np}^* = \{0,0061 [L_{np} / (2\pi R + \pi \Delta \cos \beta - N a)]^{0,8}\} / \Delta, \quad (14)$$

где Δ , a — соответственно высота и ширина стропильных балок в количестве N .

Остальной путь S характеризуется переходным и ламинарным режимом течения воздуха при свободной конвекции. В этом случае коэффициент

конвективной теплоотдачи от внутренней стенки канала приточному воздуху α_{np}^k Вт/(м²°С) рекомендуется определять по формуле;

$$\alpha_{np}^k = 2,65 w_{np}^{0,5} (S - S_{np})^{-0,5} . \quad (15)$$

Формула для определения теплообменной поверхности F_k через жестко связанные между собой геометрические характеристики принимает вид:

$$F_{np} = \Delta [2 \pi \sin\beta (S + S_b) + \pi \cos\beta \Delta - N a] , \quad (16)$$

где S_b – расстояние от верхнего основания конуса до его условной вершины.

Особенностью конусного конденсатора является его способность выполнять функцию рекуперативного теплообменника между уходящим и приточным воздухом. В этой связи рассмотрен хорошо известный в строительной практике случай вентилируемых наружных ограждений, который в теории теплопередачи обычно рассматривается с использованием понятия «условная температура прослойки» (рис.10).

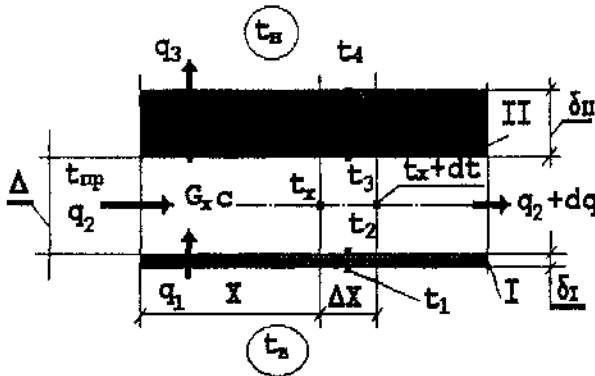


Рис. 10. Схема теплопередачи через межстропильный приточный канал

С помощью решения системы уравнений теплового баланса для элемента Δx получены формулы для определения температуры воздуха в прослойке t_{ox} и температуры внутренней поверхности канала t_{2x} , которые подобны уравнениям

(9)-(10), но с некоторыми уточнениями и дополнениями, отражающими процесс передачи теплоты через верхнюю часть кровли:

$$t_{\text{max}} = t_c - (t_c - t_{\text{np}}) \cdot e^{-\Delta x}; \quad (17)$$

$$t_{2x} = D_1 t_{\text{max}} + D_2, \quad (18)$$

$$t_c = c_0 / D_0; \quad A = [(\delta_0 + \delta_x) / 2] \cdot \alpha_{\text{в}} D_0 / (G_x c); \quad c_0 = (c_1 t_v + c_2 t_n) / c_3; \quad c_1 = K'_1; \\ c_2 = K''_H A_1; \quad c_3 = A_1 A_2 - \alpha_x \cdot (A_1 + A_2); \quad c_4 = \alpha_{\text{в}} \cdot (A_1 + A_2); \quad c_5 = K'_1 \cdot (A_2 - \alpha_x); \quad D_0 = 2 - c_4 / c_3; \\ D_1 = c_6 / c_3; \quad D_2 = (\alpha_x K''_H t_n + c_5 t_v) / c_3; \quad A_1 = K'_1 + \alpha_{\text{в}} + 2\alpha_x; \quad A_2 = K''_H + \alpha_{\text{в}} + 2\alpha_x.$$

На основе полученных аналитических зависимостей и принятых ранее исходных данных смоделирован процесс тепло- и влагообмена между приточным и уходящим воздухом. Численный эксперимент показывает, что на 70 % поверхности теплообмена конденсатообразования может не быть; приточный воздух имеет весьма низкую температуру и поэтому при смешивании с воздухом помещения возможно образование тумана. При оценке степени выполнения данным устройством функций рекуперативного теплообменника установлено, что если бы не было вентилируемой прослойки, то величина теплотерь через кровлю была на 63 % больше, но при этом величина «тепловозврата» – 1460 Вт все равно не покрывает недостаток теплоты в помещении – 9930 Вт.

По результатам моделирования сделано предположение о том, что если по ходу движения приточного воздуха толщину вентилируемой воздушной прослойки Δx сделать переменной, то можно будет увеличить величину тепловозврата $Q_{\text{пр}}$, а также обеспечить конденсатообразование на большей части теплообменной поверхности. В этой связи рассмотрена схема движения приточного воздуха в межстропильном пространстве с изменяющейся толщиной воздушной прослойки (рис. 11).

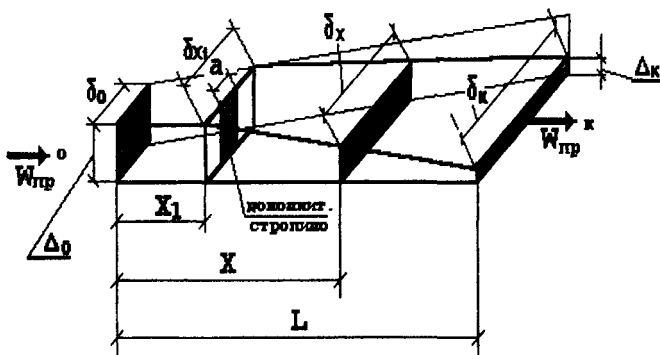


Рис. 11. Расчетная схема межстропильного приточного канала с изменяющейся толщиной воздушной прослойки

Установлено, чтобы уменьшить площадь (длину) участка инееобразования, в начале канала величина Δ_0 должна быть максимальной (обычно $\Delta_0=0,19$ м), а затем, начиная от X_1 , толщина прослойки Δ_x должна плавно уменьшаться, компенсируя увеличение ее ширины (δ_x) по зависимости:

$$\Delta_x = [6,28 (r_0 + B X_1) - N a] \Delta_0 / [6,28 (r_0 + B X) - N_1 a], \quad (18)$$

где $B = \sin\beta / \cos(\alpha_0/2)$, при $\beta = 45^\circ$ $\alpha_0 = 30^\circ$; $B = 0,732$.

Оперируя среднелогарифмическим коэффициентом конвективного теплообмена, определим оптимальную толщину канала на выходе воздуха Δ_x , которая для конкретного случая оказалась равной 0,034 м.

По данному алгоритму разработана соответствующая программа расчета на ЭВМ. С ее помощью установлено, что при переменной толщине воздушной прослойки на большей части теплообменной поверхности создаются относительно благоприятные условия для конденсации влаги. Лишь небольшой участок ($X < 0,2$ м), прилегающий к горловине вытяжной шахты, если его соответствующим образом не утеплить или не обогреть, имеет отрицательную температуру с возможностью инееобразования. Тем не менее из-за того, что более благоприятные для конденсации влаги зоны имеют несравненно меньшую площадь, чем менее благоприятные, не

удается сконденсировать расчетное количество влаги. Чтобы избавиться от этого недостатка необходимо крепить пленку к стропилам с некоторым зазором. В этом случае количество улавливаемой влаги приближается к требуемому значению, что в совокупности с тепловозвратом позволяет обеспечить оптимальные параметры микроклимата без устройства дополнительного источника теплоты.

На основе выполненных исследований разработан рабочий проект базового варианта модуля с ориентировочной сметой затрат на материалы и оборудование для его сооружения.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. При всем многообразии условий, встречающихся в вентиляционной практике, существуют по крайней мере два принципиально различных способа удаления паров воды, содержащихся в животноводческом помещении: с помощью подачи наружного воздуха, который содержал бы влаги меньше, чем воздух помещения, и путем конденсации паров воды на поверхности, которая имеет температуру ниже точки росы, с последующей организацией стока образующегося конденсата.

2. С энергетической точки зрения второй способ осушения воздуха в зимний период года более выгодный, так как он использует природный источник холода, с которым, с одной стороны, необходимо бороться для обеспечения оптимальных параметров тепловой обстановки помещения, а с другой – он же может оказать полезную услугу для осуществления процесса осушения воздуха. По сути дела здесь используется принцип обращения части складывающейся негативной ситуации в свою пользу, что в конечном итоге способствует снижению общей тепловой потребности и, следовательно, повышению экономической эффективности систем обеспечения оптимального микроклимата в животноводческих помещениях.

3. При устройстве ТКСВ самым важным следует считать возможность обеспечения постоянного регулирования и контроля низкотемпературного конденсационного процесса, который в случае необходимости всегда можно было

бы прервать или направить в противоположную сторону. Для этой цели, например, могут быть использованы пленочные и напылительные низкотемпературные электронагреватели, покрывающие участок воздуховода-конденсатора, на котором возможно образование льда и инея.

4. Предлагаемый круглый энергосберегающий модуль при оборудовании его ТКСВ по разработанной в диссертации методологии проектирования способен обеспечить органическое единство конструктивных, технологических, микроклиматических и эксплуатационных параметров в системе содержания свиней на уровне средних фермерских хозяйств.

5. Полученные в работе результаты исследований можно использовать для принятия решений о целесообразности устройства ТКСВ того или иного типа с учетом проведения мероприятий по улучшению тепловых характеристик ограждающих конструкций помещений.

Основные публикации по диссертации

1. Бирюков В.В. Анализ энергосберегающих систем отопления и вентиляции животноводческих помещений // Техносферная безопасность, надежность, качество, энергосбережение: Материалы Всероссийской науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2004.- С. 424-429.
2. Новгородский Е.Е., Бирюков В.В., Крупин В.А. Особенности проектирования отопления зданий при автономном теплоснабжения // Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда и окружающей среды: Межвуз. сб. науч. тр.– Вып. 8 (международный). – Ростов н/Д.: РГАСХМ ГОУ, 2004.-с. 89-90 (А-45 %).
3. Бирюков В.В., Новгородский Е.Е. О влиянии существующих нормативных материалов по тепломассоотдаче животных на решение проблемы теплоэнергосбережения систем вентиляции животноводческих зданий // Энергосбережение и водоподготовка. – 2005. – №1. –С. 62-64 (А-50 %).
4. Бирюков В.В., Новгородский Е.Е. Исследование процесса теплопередачи через полы животноводческих помещений // Энергосбережение и водоподготовка. – 2005. – №2. – С. 68-70 (А-70 %).
5. Бирюков В.В. Вариант устройства в животноводческих помещениях естественной конденсационной вентиляции // Известия Ростовского государственного строительного университета. 2005. – №9. – С. 369-370.
6. Бирюков В.В. О реализации процесса осушки воздуха в животноводческих помещениях путем конденсации водяных паров // Строительство – 2005:

- Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2005. – С. 296-297.
7. Бирюков В.В. О допустимости процесса инеобразования в теплообменных конденсационных системах вентиляции // Строительство – 2005: – С. 287-289.
 8. Бирюков В.В. Экспериментальное определение активной поверхности тепло- и влагообмена воздуховода-конденсатора. // Строительство – 2005 . – С. 291-292.
 9. Бирюков В.В., Осовцев В.А. Математическая модель процесса теплообмена для воздуховода-конденсатора // Критические технологии энергоснабжения зданий и сооружений: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2005. – С. 62-65 (А – 60 %).
 10. Бирюков В.В., Осовцев В.А. Экспериментальные исследования процессов тепло- и влагообмена на поверхности воздуховода-конденсатора // Критические технологии энергоснабжения зданий и сооружений: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2005. – С. 65-70 (А – 60 %).
 11. Бирюков В.В. Оптимизация теплообменной конденсационной вентиляции энергосберегающего модуля круглой формы // Критические технологии энергоснабжения зданий и сооружений: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2005. – С. 70-76.

Подписано в печать 28.02.05.

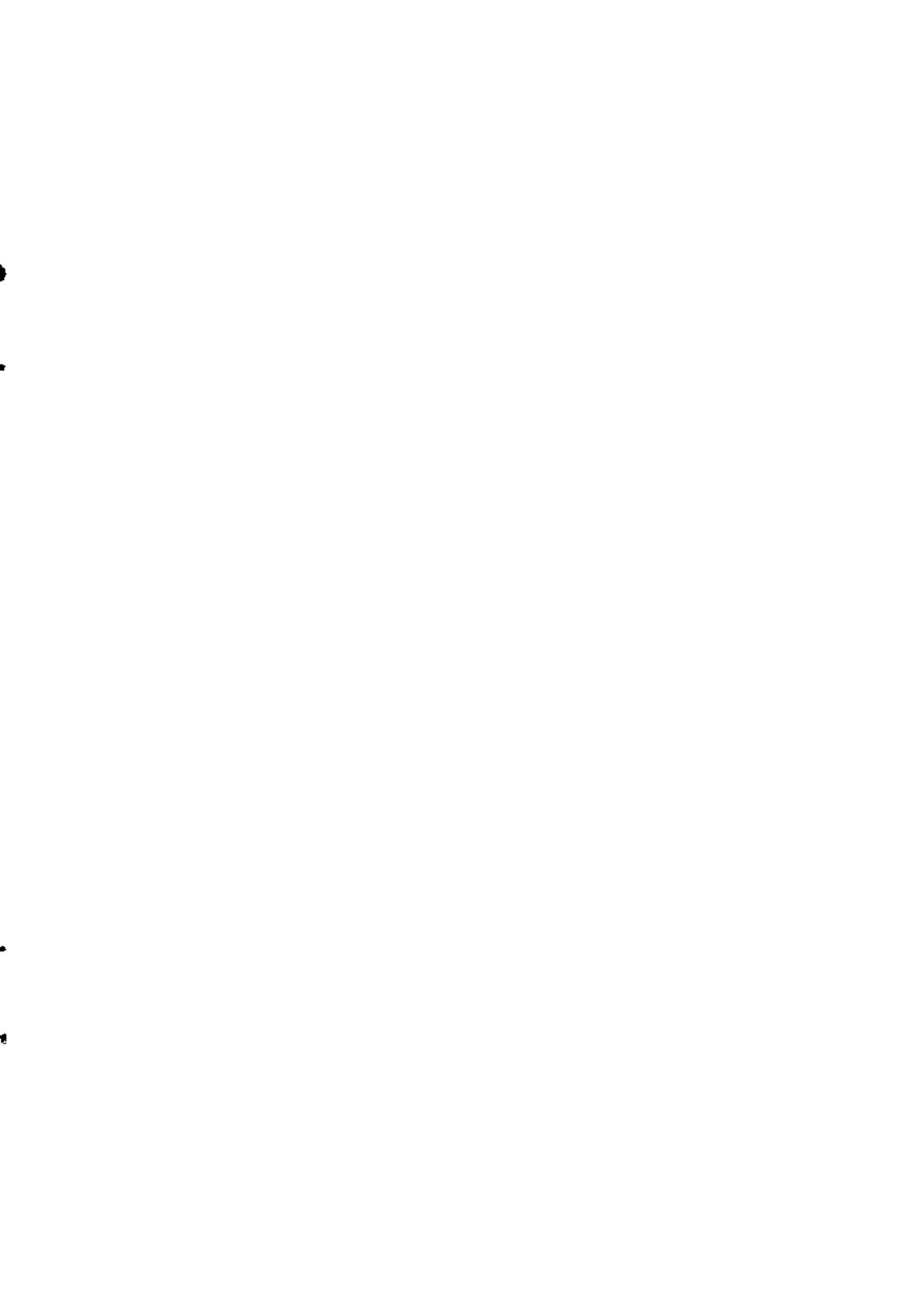
Формат 60×84/16. Бумага писчая. Ризограф.

Уч. – изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 65

Редакционно-издательский центр

Ростовского государственного строительного университета.

344022, Ростов–на–Дону, ул. Социалистическая, 162



№ - 6 5 09

РНБ Русский фонд

2006-4

4202