

УДК 621.928.6

UDC 621.928.6

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

NUMERICAL MODELING OF HEAT TRANSFER IN AN AGRICULTURAL ENTERPRISE PRODUCTION FACILITY

Попкова Оксана Сергеевна
Канд. техн. Наук, доцент
SPIN – код автора: 4884-0466
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Popkova Oksana Sergeevna
Cand.Tech.Sci., Associate Professor
RSCI SPIN-code: 4884-0466
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Чернова Олеся Станиславовна
Студент
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Chernova Olesia Stanislavovna
Student
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Настоящее исследование направлено на анализ и оптимизацию систем вентиляции и отопления с использованием численного моделирования. Для моделирования микроклимата выбран промышленный цех размером 10×10×22 м, параметры которого рассчитывались с использованием программного обеспечения ANSYS Fluent. Были исследованы влияния температуры приточного воздуха (50 °C и 70 °C) и его скорости (3, 4, 5 и 6 м/с) на распределение тепловых потоков. Результаты показали, что при температуре 50 °C образуются застойные зоны с холодным воздухом (0–8 °C), особенно в углах помещения и за оборудованием. Средняя температура рабочей зоны при таких условиях составляла 13 °C, что не соответствовало санитарным требованиям. Увеличение температуры приточного воздуха до 70 °C позволило достичь равномерного распределения тепла, обеспечив температуру в диапазоне 19–20 °C, что соответствует нормативам. Анализ скоростей воздуха показал, что увеличение скорости притока с 3 до 6 м/с улучшало перемешивание воздушных потоков, снижало размеры застойных зон и увеличивало их температуру на 2–3 °C. Оптимальной скоростью притока воздуха признаны значения 4–5 м/с, обеспечивающие баланс между эффективным перемешиванием и комфортом для сотрудников. Полученные результаты подчеркивают эффективность численного моделирования для проектирования и оптимизации микроклимата. Этот подход позволяет не только выявлять проблемные зоны, такие как застойные области и

This study focuses on analyzing and optimizing ventilation and heating systems using numerical modeling. A production workshop with dimensions of 10×10×22 m was selected for microclimate modeling, and its parameters were calculated using ANSYS Fluent software. The influence of supply air temperature (50 °C and 70 °C) and velocity (3, 4, 5, and 6 m/s) on heat flow distribution was studied. The results showed that at a supply air temperature of 50 °C, cold stagnant zones with air temperatures of 0–8 °C formed, especially in the corners of the facility and behind the equipment. The average temperature in the working zone under these conditions was 13 °C, which did not meet sanitary requirements. Increasing the supply air temperature to 70 °C achieved uniform heat distribution, maintaining temperatures within the 19–20 °C range, in compliance with standards. An analysis of air velocity demonstrated that increasing the airflow rate from 3 to 6 m/s improved the mixing of air streams, reduced the size of stagnant zones, and increased their temperature by 2–3 °C. The optimal airflow velocity was found to be 4–5 m/s, balancing effective mixing and worker comfort. The findings highlight the effectiveness of numerical modeling in designing and optimizing microclimates. This approach not only identifies problem areas, such as stagnant zones and uneven heat distribution, but also provides recommendations for upgrading ventilation systems and optimizing their parameters. The study also revealed that placing equipment near exterior walls and gates results in stagnant zones, increasing energy consumption and reducing heating system efficiency. The results can be applied to develop energy-efficient solutions for agricultural enterprises,

неравномерное распределение тепла, но и разрабатывать рекомендации по модернизации вентиляционных систем и оптимизации их параметров. В ходе исследования также выявлено, что расположение оборудования вблизи наружных стен и ворот приводит к образованию застойных зон, что повышает энергозатраты и снижает эффективность систем обогрева. Результаты могут быть применены для разработки энергоэффективных решений в агропромышленных предприятиях, направленных на улучшение условий труда и снижение эксплуатационных затрат

improving working conditions and reducing operational costs

Ключевые слова: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, МИКРОКЛИМАТ, ТЕПЛООБМЕН, ВЕНТИЛЯЦИЯ, АГРОПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ, ОПТИМИЗАЦИЯ, ANSYS FLUENT

Keywords: NUMERICAL MODELING, MICROCLIMATE, HEAT TRANSFER, VENTILATION, AGRICULTURAL ENTERPRISES, OPTIMIZATION, ANSYS FLUENT

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-205-006>

Введение. Современное сельское хозяйство стремительно трансформируется благодаря внедрению инновационных технологий, обеспечивающих рост производительности и снижение энергетических затрат. Одним из ключевых аспектов повышения эффективности агропромышленных предприятий является создание оптимальных микроклиматических условий в помещениях, где хранятся или перерабатываются сельскохозяйственные продукты. Организация воздухообмена и теплообмена становится особенно важной задачей, так как от нее зависит как качество продукции, так и здоровье сотрудников.

Для обеспечения необходимых климатических условий традиционно применяются различные системы вентиляции и отопления. Однако их эффективность часто ограничивается отсутствием предварительного анализа возможных температурных и воздушных потоков. В этом контексте численное моделирование теплообмена представляет собой перспективный инструмент для проектирования и оптимизации таких систем. Оно позволяет выявить проблемные зоны, предсказать поведение воздушных и тепловых потоков и определить наиболее эффективные параметры работы оборудования.

<http://ej.kubagro.ru/2025/01/pdf/06.pdf>

Особое внимание заслуживает использование численного моделирования в агропромышленных помещениях, где часто возникают специфические проблемы, такие как высокая влажность, выделение избыточного тепла от оборудования и необходимость строгого контроля температуры для сохранения продукции. Эти аспекты требуют индивидуального подхода и тщательного проектирования систем вентиляции и отопления. Важно учитывать, что недостаточная вентиляция может приводить к ухудшению качества воздуха, повышению энергозатрат и снижению производительности труда.

Состояние исследований и актуальность проблемы. Вопросы организации микроклимата в производственных помещениях активно изучаются в научной литературе, что связано с высокой значимостью данной проблемы для различных отраслей промышленности, включая агропромышленный комплекс. Особое внимание уделяется исследованию процессов тепло- и массопереноса, которые лежат в основе проектирования систем вентиляции и отопления. Многочисленные работы посвящены разработке методик расчета параметров воздухообмена, что позволяет улучшить качество воздушной среды и снизить энергозатраты.

Современные исследования демонстрируют широкий спектр подходов к анализу теплообмена. В частности, активно используются методы математического и численного моделирования, которые дают возможность на этапе проектирования учитывать различные факторы: геометрию помещения, свойства материалов, параметры воздуха и тепловые нагрузки. Такие модели позволяют предсказать распределение температур, потоков воздуха и выявить застойные зоны, что особенно важно для обеспечения равномерного обогрева или охлаждения помещений.

Несмотря на это, в агропромышленных предприятиях остается множество нерешенных вопросов, связанных с оптимизацией

микроклимата. Например, высокая влажность и выделение тепла от оборудования требуют разработки специфических решений, которые не всегда могут быть реализованы стандартными подходами. Кроме того, значительная часть существующих систем вентиляции и отопления разрабатывается без учета реальных условий эксплуатации, что приводит к их низкой эффективности.

Актуальность проблемы также обусловлена требованиями энергосбережения, которые становятся все более строгими в условиях глобального изменения климата. Согласно данным современных исследований, использование численного моделирования позволяет значительно сократить энергетические затраты за счет оптимизации параметров работы систем вентиляции и отопления. Это делает данный подход особенно востребованным в агропромышленном комплексе, где снижение издержек и повышение энергоэффективности являются приоритетными задачами.

Таким образом, необходимость разработки новых методов проектирования микроклимата, основанных на численном моделировании, является актуальной и востребованной задачей.

Цель исследований. Целью настоящего исследования является разработка и применение численного моделирования для анализа и оптимизации систем вентиляции и отопления в производственных помещениях агропромышленных предприятий с учетом их специфических требований к микроклимату.

Материалы и методы исследований. В ходе исследования было проведено численное моделирование теплообмена и воздухообмена в производственном помещении с использованием программного обеспечения ANSYS Fluent. В качестве объекта моделирования был выбран промышленный цех с размерами 10×10×22 м. Модель включала

основные элементы помещения, такие как стены, окна, двери, оборудование и системы вентиляции (рис. 1).

Создание твердотельной модели цеха осуществлялось в среде SpaceClaim, после чего была сформирована расчетная сетка в модуле Mesh. Общая численность ячеек составила около 3 миллионов, что обеспечило высокую точность расчетов. В качестве моделей турбулентности использовалась $k-\omega$ SST, которая позволила учитывать сложные вихревые структуры и влияние граничных условий на потоки воздуха.

Граничные и начальные условия включали задание температуры приточного воздуха (50 °C и 70 °C) и его скорости (3, 4, 5 и 6 м/с). Для анализа результатов были выбраны ключевые плоскости, пересекающие помещение на различных уровнях, что позволило оценить распределение температур и скоростей потоков в рабочей зоне.

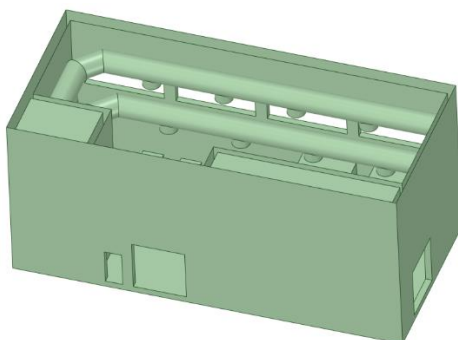


Рисунок 1 – Трехмерная модель цеха

Полученные данные визуализировались в виде температурных полей, что позволило выявить области с застойными зонами и неравномерным распределением тепла.

Результаты исследований. Результаты моделирования показали, что температура и скорость приточного воздуха существенно влияют на распределение тепловых потоков и микроклимат в помещении. При температуре приточного воздуха 50 °C наблюдалось образование холодных застойных зон, особенно за оборудованием и в углах

помещения. Средняя температура на уровне рабочей зоны не превышала 13 °С, что не соответствует нормативным требованиям для комфортной работы персонала. Зоны с температурой воздуха от 0 до +8 °С значительно снижали эффективность работы системы, создавая дискомфорт для сотрудников.

С увеличением скорости приточного воздуха с 3 до 6 м/с температура в холодных зонах повышалась на 2–3 °С, а их размеры сокращались. Однако полностью устранить эти зоны не удалось даже при максимальной скорости притока. Это указывает на необходимость дополнительной оптимизации конфигурации вентиляционной системы и перераспределения потоков воздуха.

При температуре приточного воздуха 70 °С равномерность распределения тепла значительно улучшилась. Температура в помещении достигала 19–20 °С, что соответствует санитарным нормам. Тем не менее, за оборудованием сохранялись зоны со слабой циркуляцией воздуха. Эти застойные зоны не только ухудшали воздухообмен, но и увеличивали энергозатраты на обогрев. Расположение оборудования вблизи наружных стен и ворот оказывалось особенно неблагоприятным, поскольку в этих областях формировались холодные завихрения, которые влияли на общий микроклимат помещения.

Анализ скоростей приточного воздуха показал, что оптимальной скоростью можно считать 4–5 м/с. Эта скорость обеспечивала достаточное перемешивание воздушных потоков и минимизировала негативные эффекты, связанные с чрезмерными воздушными потоками или застойными зонами (рис. 2).

Таким образом, численное моделирование продемонстрировало высокую эффективность для анализа и оптимизации микроклимата в производственных помещениях. Оно позволило выявить ключевые проблемы, такие как застойные зоны и неравномерное распределение

тепла, и предложить рекомендации по улучшению работы вентиляционных систем.

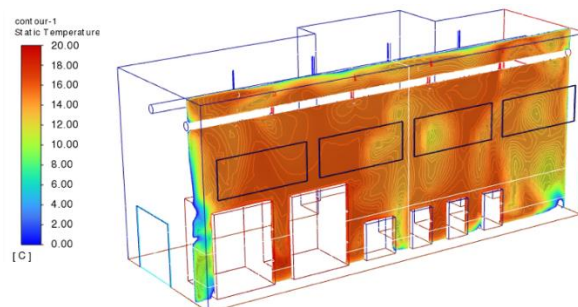


Рисунок 2 – Температурное поле при входной скорости 6 м/с и температуре 50 °С (вид в сечении на уровне ответвлений вытяжной системы вентиляции)

Выводы. 1. Увеличение скорости приточного воздуха с 3 до 6 м/с повысило температуру в холодных зонах на 2–3 °С и уменьшило их размеры. 2. Численное моделирование позволяет выявить и устранить застойные зоны, способствуя равномерному распределению тепла. 3. Расположение оборудования близко к наружным стенам и воротам значительно ухудшает циркуляцию воздуха и увеличивает энергозатраты.

Библиографический список

1. Вишневикий Е. П., Салин М. Ю. Микроклимат на объектах агропромышленного комплекса // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2011. – №. 8. – С. 86-89.

References

1. Vishnevskij E. P., Salin M. Ju. Mikroklimat na ob#ektah agropromyshlennogo kompleksa // Santechnika, otoplenie, kondicionirovanie. – 2011. – №. 8. – S. 86-89.