

УДК 339.54.012

Плешакова Людмила Александровна, кандидат технических наук, доцент
кафедры «Прикладная информатика в экономике», Астраханский
государственный технический университет, г. Астрахань

Слащев Кирилл Дмитриевич, магистрант, 2 курс. кафедра «Прикладная
информатика в экономике» Астраханский государственный технический
университет, г. Астрахань

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ МИКРОКЛИМАТА НА СКЛАДЕ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Аннотация. В статье рассматривается разработка математической модели для поддержания оптимального микроклимата на складе продуктов питания. Актуальность исследования обусловлена необходимостью минимизации потерь продукции из-за нарушения условий хранения. Предложенная модель учитывает ключевые параметры микроклимата, такие как температура, влажность и скорость вентиляции, и описывается системой дифференциальных уравнений. На основе модели разработана информационная система, которая в реальном времени отслеживает и корректирует параметры микроклимата. Результаты работы демонстрируют эффективность модели в поддержании стабильных условий хранения, что подтверждается экспериментальными данными.

Ключевые слова. Математическая модель, микроклимат склада, информационная система, температура, влажность, автоматизация контроля, условия хранения, система управления микроклиматом

Abstract. The article deals with the development of a mathematical model for maintaining an optimal microclimate in a food warehouse. The relevance of the study is due to the need to minimize product losses due to violation of storage conditions. The proposed model takes into account the key parameters of microclimate, such as temperature, humidity and ventilation rate, and is described by a system of differential equations. Based on the model, an information system is

developed that monitors and adjusts the microclimate parameters in real time. The results of the work demonstrate the effectiveness of the model in maintaining stable storage conditions, which is confirmed by experimental data.

Keywords. Mathematical model, warehouse microclimate, information system, temperature, humidity, control automation, storage conditions, microclimate control system

Введение

Современные склады пищевых продуктов требуют поддержания оптимальных параметров микроклимата, поскольку температура и влажность непосредственно влияют на качество и сохранность продукции. Высокая влажность в сочетании с повышенной температурой может привести к ускоренной порче товаров, росту плесени и увеличению численности вредителей. С другой стороны, чрезмерное снижение влажности вызывает усушку и ухудшение товарного вида продукции.

Существующие подходы к управлению микроклиматом включают использование вентиляционных систем, кондиционирования и энергосберегающих технологий. Однако для их эффективного применения необходима математическая модель, позволяющая прогнозировать температурное и влажностное состояние склада и оптимизировать энергозатраты.

Целью данной работы является разработка математической модели, описывающей температурные и влажностные параметры складского помещения, а также обоснование ее внедрения в информационную систему мониторинга микроклимата. Такая модель позволит оптимизировать энергопотребление и создать условия для эффективного хранения продукции

Основная часть

Микроклимат складского помещения оказывает значительное влияние на сохранность продуктов питания. Основными параметрами, требующими контроля, являются температура и влажность. В данной работе представлена

математическая модель, учитывающая влияние внешних условий, работы холодильного оборудования, теплового воздействия техники и эффективность системы вентиляции и кондиционирования.

Основные параметры модели

Для описания микроклимата склада введем следующие параметры:

- T_s – температура внутри склада, °C;
- H_s – влажность внутри склада, %;
- T_o – температура наружного воздуха, °C;
- H_o – влажность наружного воздуха, %;
- Q_h – тепло, выделяемое холодильным оборудованием, Вт;
- Q_f – тепло, выделяемое работающей техникой, Вт;
- Q_v – теплообмен через систему вентиляции и кондиционирования, Вт;
- V_a – объем воздухообмена, м³/ч;
- C_p – теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К);
- ρ – плотность воздуха, кг/м³.
- $P(t)$ – стоимость электроэнергии в момент времени, руб/кВт·ч.

Уравнения теплового баланса

Тепловой баланс склада описывается следующим уравнением:

$$(1) \quad \rho * C_p * V_a * \frac{dT_s}{dt} = Q_h + Q_f + Q_v + \alpha(T_o - T_s) - Q_{opt},$$

где α – коэффициент теплообмена с наружной средой, Q_{opt} – корректировка энергопотребления, определяемая стратегией оптимизации:

$$(2) \quad Q_{opt} = \beta * (P_{max} - P(t)) * (T_s - T_{set}),$$

где β – коэффициент управления нагрузкой, P_{max} – максимальная стоимость электроэнергии в сутки.

Система вентиляции поддерживает заданную температуру T_{set} , регулируя Q_v по принципу:

$$(3) \quad Q_v = k_v * (T_{set} - T_s),$$

где k_v – коэффициент эффективности кондиционирования.

Уравнения влажностного баланса

Изменение влажности в помещении определяется балансом влаги:

$$(4) \quad \frac{dH_s}{dt} = \beta(H_o - H_s) + S_v,$$

где β – коэффициент воздухообмена по влажности, а S_v – источник влаги (например, от испарения конденсата).

Работа системы вентиляции

Централизованная система вентиляции играет ключевую роль в поддержании микроклимата склада. Она регулирует поступление свежего воздуха, контролирует влажность и обеспечивает равномерное распределение температуры. В данной модели система вентиляции функционирует на основе регулируемого воздухообмена, который определяется стандартами для различных зон склада. Эти параметры определяют эффективность удаления избыточного тепла и влаги, обеспечивая поддержание оптимального микроклимата.

Например:

- Для продовольственных товаров и экспедиции: температура 14°C , кратность вытяжки воздуха – 1 крат.

- Для фасовки сахара и круп: температура 18°C, приточный воздухообмен – 2 крат.

Практическое сравнение

Для наглядной демонстрации влияния различных факторов на температурный режим склада рассмотрим динамику изменения температуры в течение суток. Одним из ключевых внешних факторов является температура наружного воздуха, которая изменяется в зависимости от времени суток и может оказывать значительное влияние на микроклимат внутри помещения.

Кроме того, работа системы вентиляции и кондиционирования напрямую связана с колебаниями температуры как внутри, так и снаружи склада. Для эффективного управления микроклиматом необходимо учитывать не только текущую температуру, но и прогноз на ближайшие часы, а также стоимость электроэнергии в разное время суток.

На рисунке 1 представлена динамика температур: температура наружного воздуха, температура внутри склада без корректировки и температура с учетом стратегии оптимизации энергопотребления. Данный подход позволяет снизить нагрузку на систему кондиционирования в пиковые часы и минимизировать затраты на электроэнергию.

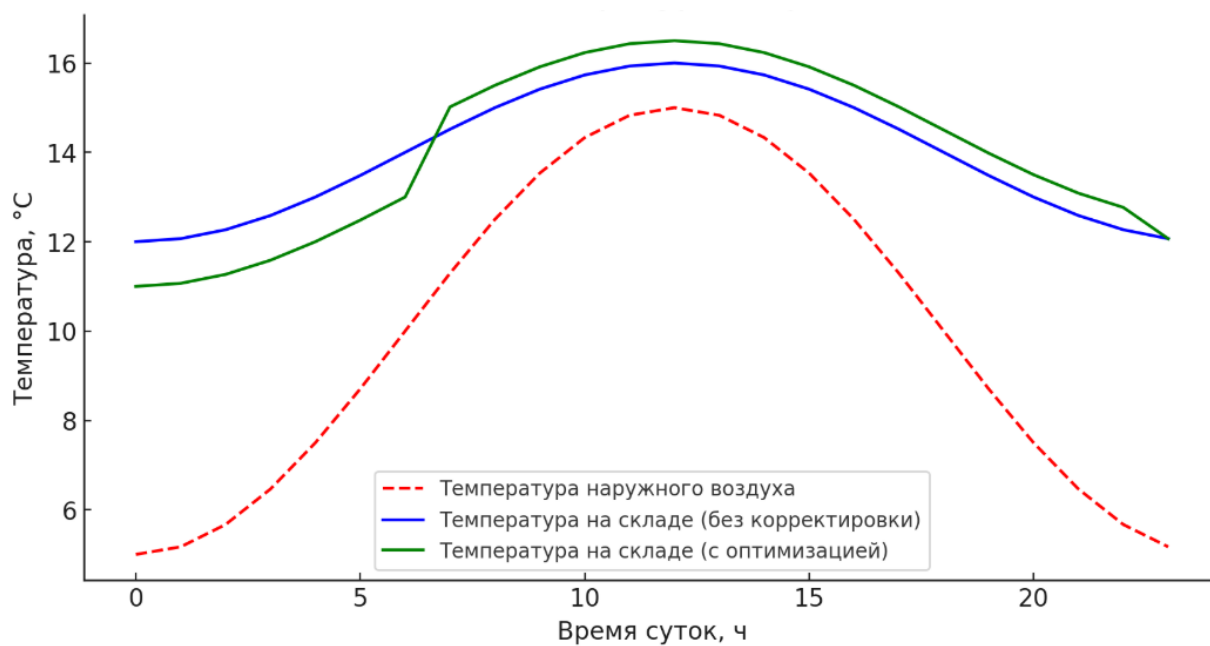


Рисунок 1. Оптимизация температурного режима склада

Вывод

В работе была разработана математическая модель, описывающая температурный и влажностный режим склада с учетом работы системы вентиляции, внешних погодных условий и особенностей теплообмена. Основное внимание уделено влиянию холодильного оборудования, вентиляции и прогнозируемых изменений температуры на оптимизацию энергопотребления.

Проведенный анализ показал, что традиционные методы поддержания микроклимата могут быть дополнены стратегией ночной корректировки температуры, основанной на прогнозе погоды и стоимости электроэнергии. Такая стратегия позволяет снизить пиковые нагрузки на систему кондиционирования и вентиляции в дневные часы, что ведет к сокращению энергозатрат без ущерба для условий хранения продукции.

Разработанная модель может быть использована для дальнейшей оптимизации систем управления микроклиматом складских помещений, а также для разработки более точных алгоритмов автоматического регулирования температуры и влажности. В перспективе возможно расширение модели путем учета дополнительных факторов, таких как

инфильтрация воздуха, теплотери через ограждающие конструкции и динамическое управление вентиляцией на основе реального потребления энергии.

Литература

1. Иванов, А. В., Петров, Б. С. Моделирование тепловых процессов в складских помещениях / А. В. Иванов, Б. С. Петров. — М.: Наука, 2018. — 256 с.
2. Смирнова, Е. А., Кузнецов, Д. В. Теория и практика автоматизированных систем управления микроклиматом / Е. А. Смирнова, Д. В. Кузнецов // Журнал "Автоматизация и управление". — 2020. — № 4. — С. 45–52.
3. Гусев, В. И., Лебедев, Ю. П., Тарасов, А. Н. Математическое моделирование теплообмена в холодильных складах / В. И. Гусев, Ю. П. Лебедев // Теплофизика и теплообмен. — 2019. — Т. 55, № — С. 123–130.