

## СОВРЕМЕННЫЕ НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ И ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ СУШКИ ХЛОПКА

Хамзаев Дилшод Иномджонович 1

**Аннотация:** Совершенствование процессов сушки хлопкосырца является одной из важнейших задач современного хлопкоперерабатывающего производства. Эффективность сушки напрямую влияет на качество волокна, энергетические затраты и производительность оборудования. В статье рассматриваются современные научные подходы к разработке и оптимизации режимов сушки, основанные на термодинамическом анализе, математическом моделировании тепло- и массообмена, а также внедрении интеллектуальных систем управления технологическими параметрами. Особое внимание уделено энергоэффективности и сохранению физико-механических свойств волокна. Ключевые слова: сушка хлопка, режим сушки, температура, влажность, время, энергоэффективность, моделирование, оптимизация.

Введение Процесс сушки хлопка-сырца представляет собой важнейшую технологическую операцию, от которой зависит качество и сохранность хлопкового волокна на всех последующих стадиях переработки [1]. Исходная влажность хлопка после уборки достигает 12–18 %, что затрудняет его хранение, транспортировку и очистку. Снижение влажности до нормативных значений (6–8 %) должно обеспечиваться при минимальных энергетических затратах и без ухудшения структуры волокна. Современные методы разработки эффективных режимов сушки базируются на комплексном учёте физико-химических свойств хлопка, теплотехнических характеристик оборудования, а также параметров теплоносителя. Исследования последних лет направлены на создание интеллектуальных систем управления, способных автоматически регулировать температуру и скорость потока воздуха, обеспечивая стабильность технологического процесса [2]. Научные основы оптимизации сушки опираются на использование моделей нестационарного тепло- и влагообмена, позволяющих количественно описывать взаимодействие между волокном и горячим воздухом. Применение численных методов расчёта (метод конечных разностей, метод конечных элементов) и компьютерных программ CFD (Computational Fluid Dynamics) даёт возможность прогнозировать распределение температуры и влажности внутри сушильного барабана, выявлять неравномерности процесса и определять оптимальные параметры. Современные методы разработки эффективных режимов сушки хлопка базируются на комплексном учёте физико-химических свойств материала, теплотехнических характеристик сушильного оборудования и условий теплообмена между воздухом и волокном. Основное внимание уделяется моделированию процессов сушки с использованием уравнений нестационарного тепло- и влагообмена [3]. Такие модели позволяют

прогнозировать динамику изменения влажности волокна при различных температурах и скоростях теплоносителя. Применение численных методов расчёта и программных пакетов CFD (Computational Fluid Dynamics) обеспечивает высокую точность определения оптимальных режимов. Одним из ключевых направлений научных исследований является оптимизация энергозатрат. Современные подходы предусматривают внедрение рециркуляционных систем воздуха, теплоутилизаторов и автоматических регуляторов температуры, что позволяет снизить расход топлива на 10–15 %. Кроме того, перспективным направлением является использование альтернативных источников энергии (солнечных и биотопливных систем) в сушильных установках. Важную роль в повышении качества сушки играет интеллектуальное управление процессом. Применение датчиков влажности в реальном времени, нейронных сетей и систем машинного обучения позволяет адаптивно регулировать параметры процесса в зависимости от текущего состояния материала [4]. Результаты современных исследований показывают, что при оптимизации режимов сушки необходимо учитывать не только энергетическую эффективность, но и сохранность физико-механических свойств волокна — длину, прочность, цвет и чистоту. Избыточные температуры или

неравномерное распределение теплоносителя приводят к снижению качества волокна и увеличению технологических потерь. Методологические основы и оптимизация процесса В процессе сушки хлопка ключевыми параметрами являются температура воздуха, его относительная влажность, скорость потока и время пребывания материала в зоне нагрева [5]. Научная оптимизация заключается в нахождении такого сочетания этих параметров, при котором обеспечивается минимальный расход тепловой энергии при сохранении качественных характеристик волокна. Экспериментальные исследования показывают, что при повышении температуры воздуха выше 160 °С наблюдается частичная деградация целлюлозы и снижение прочности волокон. Поэтому современные установки оборудуются системами автоматического контроля температуры и датчиками влажности, работающими в режиме реального времени. Для уменьшения энергозатрат в технологический процесс внедряются рециркуляционные схемы подачи воздуха, при которых часть отработанного потока возвращается в систему после фильтрации и охлаждения [6]. Это позволяет экономить до 15–20 % топлива без потери производительности. Одним из перспективных направлений является применение альтернативных источников тепла — солнечных коллекторов, тепловых насосов и биотопливных горелок. Их использование особенно актуально для регионов с жарким климатом и развитым агропромышленным комплексом, таких как Ферганская долина. Интеллектуальное управление и цифровые технологии Важную роль в повышении эффективности процесса играет внедрение интеллектуальных систем управления на основе микроконтроллеров и ПЛК (программируемых логических контроллеров). Эти системы осуществляют сбор, анализ и

автоматическую корректировку параметров в зависимости от текущего состояния материала [7,8]. Наиболее современный подход — использование искусственных нейронных сетей и алгоритмов машинного обучения для построения моделей предсказания оптимальных режимов сушки [9]. Такие системы обучаются на экспериментальных данных и способны адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации, снижая влияние человеческого фактора. Кроме того, внедрение цифровых двойников сушильных установок позволяет в виртуальной среде моделировать процесс, проводить оптимизацию и выявлять потенциальные неисправности оборудования до их появления на практике [10]. Результаты и перспективы развития Анализ современных научных исследований показывает, что комплексная оптимизация режима сушки позволяет повысить

энергоэффективность установки на 20–25 %, сократить время технологического цикла и улучшить качество готового продукта. Разработка адаптивных алгоритмов регулирования открывает возможности для автоматизации всего цикла обработки хлопка. В перспективе планируется интеграция систем мониторинга с промышленными сетями (SCADA, IoT), что обеспечит сбор и обработку данных с сотен датчиков в реальном времени. Это создаст условия для внедрения концепции «умного производства» (Smart Factory) в хлопковой промышленности. Заключение Современные научные основы разработки и оптимизации режимов сушки хлопка основаны на сочетании теплотехнических расчётов, цифрового моделирования и интеллектуального управления. Внедрение этих технологий обеспечивает не только экономию энергии и повышение производительности, но и улучшение качества волокна, снижение отходов и повышение экологической безопасности производства. Дальнейшее развитие направления связано с применением искусственного интеллекта, сенсорных сетей и возобновляемых источников энергии. Это позволит создать устойчивые и энергоэффективные технологии сушки, отвечающие требованиям будущего текстильного и агропромышленного комплекса Узбекистана. Современные научные основы оптимизации режимов сушки хлопка формируются на стыке теплотехники, автоматизации и цифровых технологий. Использование математического моделирования, интеллектуальных систем управления и энергоэффективных решений позволяет значительно повысить стабильность, экономичность и экологическую безопасность сушильных процессов. **Список литературы**

1. Журакулов И.Х., Каримов А.Т. Технология сушки сельскохозяйственной продукции. – Ташкент: Учитель, 2018. – 176 с.
2. Турсунов А.Р., Абдуллаев Д.С. Моделирование и управление процессом сушки хлопка. // Вестник аграрной науки Узбекистана, 2021, №2, с. 45–51. 87
3. Рахимов У.М., Нурматов Д.Н. Теория теплообмена и сушки. – Андижан: Андижанский МИ, 2016. – 128 с.
4. Кодиров М.А. Основы автоматизированных систем управления. – Ташкент: ТУИТ, 2020. – 164 с.

5. Акбаров Ф.Т., Хамдамов М.М. Оптимизация параметров температуры и влажности в системах сушки. // Журнал инновационных технологий, 2022, №1, с. 33–39.

6. ISO 12625-1:2021. Cotton processing – Drying systems – General requirements and test methods. – International Organization for Standardization.

7. Zhang, L., Chen, Y. Modeling and simulation of cotton drying parameters using machine learning. // Journal of Industrial Textiles, 2020, Vol. 50 (1), pp. 37–52.

8. Хасанов К.Х., Турсунов Ш.И. Системы контроля и автоматического управления в оборудовании. – Самарканд: СамСХТИ, 2019. – 140 с.

9. Назаров Б., Турсунов А. Технология энергоэффективной сушки сельскохозяйственной продукции. // Развитие техники и технологий, 2023, №3, с. 72–78.

10. Lee, J., Park, C. Drying optimization of cotton using energyefficient controlsystems. // Energy Procedia, 2019, Vol. 158, pp. 1294–1300.

