

АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР
Энергетический институт

Б. М. Гурович

СУШКА ХЛОПКА-СЫРЦА В БАРАБАННОЙ СУШИЛКЕ
С ПЕРЕКРЕСТНЫМ ПОТОКОМ НАГРЕТОГО
ВОЗДУХА

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Н. И. ГЕЛЬПЕРИН

г. Ташкент

1956 г.

Экспериментальные исследования проводились
лаборатории теплотехники Среднеазиатского политехнического
института

97864.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А.Н. Киргизской ССР

Выход волокна из хлопка-сырца в значительной степени зависит от его влажности, играющей также решающую роль в сохранении его качеств при длительном хранении. Повышенная влажность приводит к согреванию хлопка-сырца и ухудшению его качеств—вплоть до полного обесценивания. Особенно подвержены самосогреванию низкие сорта (IV, V и VI).

Задача работников сельского хозяйства состоит в выращивании урожая хлопка-сырца и сдаче его государству в доморозный период, до наступления непогоды. Однако, мы не гарантированы от всяких неблагоприятных метеорологических условий. Об этом свидетельствуют сезоны уборки хлопка-сырца в Узбекистане в 1935, 1937, 1940, 1947 и 1951 годах. Особенно поучительным был 1951 год, показавший, что отсутствие сушильного хозяйства может привести к срыву выполнения плана хлопкозаготовок и гибели значительной части урожая. В благоприятные по метеорологическим условиям сезоны сушке подлежит 15—20% валового сбора хлопка-сырца. В неблагоприятные сезоны—этот процент значительно возрастает.

Таким образом, для безусловного сохранения технологических качеств всего выращенного хлопка-сырца и обеспечения условий для успешной первичной обработки его, должно быть создано экономичное высокопроизводительное сушильное хозяйство.

Решение этой важной задачи требует всестороннего исследования процесса сушки хлопка-сырца и отыскания наиболее эффективного его аппаратного оформления.

Для сушки хлопка были предложены различные конструкции сушилок, которые по характеру движения агента сушки и высушиваемого материала можно разделить на четыре группы:

а) сушилки, работающие по принципу передачи тепла от теплоносителя к материалу через разделяющую их перегородку;

б) сушилки, работающие по принципу омывания поверхности слоя хлопка-сырца агентом сушки;

в) сушилки, работающие по принципу барботажа (пронизывания) агента сушки через слой хлопка-сырца;

г) сушилки смешанного типа, в которых совмещены два последние принципа.

В первый период внедрения сушки хлопка-сырца большое распространение получили сушилки первой группы, а позднее их заменили сушилки третьей группы. В последнее время нача-

лось внедрение барабанных сушилок с подъемно-лопастной системой и прямоточным либо противоточным потоком агента сушки и хлопка, которые могут быть отнесены к сушилкам смешанного типа.

Нам представляется, что ориентация на барабанные сушилки является вполне рациональной, поскольку эти аппараты осуществляют механизированный процесс при непрерывном действии. Нельзя однако согласиться с тем, что оптимальной для сушки хлопка-сырца является обычная барабанная сушилка с подъемно-лопастной системой и прямоточным или противоточным движением агента сушки и хлопка.

Рядом исследований было установлено, что наиболее эффективным является метод пронизывания слоя хлопка-сырца потоком агента сушки.

Стремясь к одновременному уменьшению удельного расхода тепла при сушке хлопка-сырца и к повышению напряжения рабочего объема по влаге, мы обратились к исследованию сушилки с ситчатым барабаном и перекрестным током воздуха и хлопка.

Указанные исследования проводились в лаборатории теплотехники Среднеазиатского политехнического института.

В процессе выбранного метода сушки хлопка существенную роль играет его гидравлическое сопротивление потоку воздуха. От величины этого сопротивления зависит расход энергии, а от характера изменения сопротивления на пути движения хлопка-сырца зависит эффективность и равномерность его сушки.

Вопрос о гидравлическом сопротивлении неподвижного слоя хлопка-сырца потоку воздуха изучался Б. Ф. Бальсоном и А. А. Мамедовым. Данные первого из указанных авторов в большинстве своем страдают неточностью из-за недостатков методики поставленных опытов, а данные А. А. Мамедова относятся к слою хлопка 0,3÷1 м, превышающему оптимальную толщину слоя при сушке.

Литература по динамике сушки хлопка-сырца весьма бедна и практически отсутствует применительно к барабанным сушилкам.

Исследования оптимальной высоты слоя хлопка, оптимальной температуры и скорости потока воздуха при слоевой сушке проведены Б. Ф. Бальсоном, В. К. Королевым, А. А. Мамедовым и К. Ш. Шакировым.

М. И. Щеколдин определил значения критериев Фурье, Био, Поснова, Кирпичева и Лыкова, а также нашел их функциональные зависимости для случая радиационной сушки хлопка-сырца.

В диссертации рассматриваются упомянутые работы и приведен их критический анализ.

Гидравлическое сопротивление хлопка-сырца при продувании его потоком воздуха

Изучение сопротивления неподвижных плоских слоев хлопка при продувке их потоком воздуха было предпринято в связи с тем, что на такой модели может быть проще выявлена общая закономерность процесса. Базируясь на характере этой закономерности, мы могли обратиться ко второму этапу исследования, касающемуся гидравлического сопротивления более сложной системы, которой представляется слой хлопка во вращающемся ситчатом барабане.

Для исследования гидравлического сопротивления неподвижного плоского слоя хлопка-сырца была построена специальная установка, которая дала возможность вести работу со слоями различной плотности высотой 100 и 200 мм, продуваемыми воздухом со скоростью до 1,7 м/сек., отнесенной к свободному сечению камеры.

На основании многочисленных экспериментальных данных нами установлена зависимость гидравлического сопротивления слоя хлопка-сырца от его высоты, плотности укладки и скорости воздуха, описываемая степенным уравнением.

Очевидно более широкое обобщение экспериментальных данных может быть достигнуто с помощью теории подобия.

Критериальное уравнение, отражающее динамическое и кинематическое подобие потоков при их геометрическом подобии, имеет вид:

$$Eu = c Re^n \quad (1).$$

Легко видеть, однако, что гидравлическое сопротивление слоя хлопка-сырца, при прочих равных условиях должно зависеть также от высоты этого слоя (h_H).

Следовательно, применительно к нашему случаю, критериальное уравнение (1) должно быть дополнено безразмерным симплексом $\frac{h_H}{d_3}$

$$Eu = c Re^n \cdot \frac{h_H}{d_3} \quad (2),$$

где d_3 — эквивалентный диаметр.

Анализ экспериментальных данных показал, что при некотором „критическом“ значении критерия Рейнольдса ($Re_{кр}$) имеет место изменение режима течения, причем $Re_{кр} = 6300$.

Значения ζ и η в уравнении (2) зависят от направления и режима потока воздуха, а также от плотности укладки слоя.

Полученные экспериментальные данные дали возможность установить численные значения ζ и η , приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Значения ζ и η для плоского неподвижного слоя

Направление потока	Плотность укладки кг м ³ а. с.	Re	ζ	η
Всасывание	57,477	< 6300	$371,25 \cdot 10^4$	— 0,875
— „ —	57,477	> 6300	$104,5 \cdot 10^2$	— 0,2
— „ —	114,954	< 6300	$333,66 \cdot 10^3$	— 0,45
— „ —	114,954	> 6300	$1522,24 \cdot 10^2$	— 0,358
Нагнетание	57,477	< 6300	$574,75 \cdot 10^4$	— 0,875
— „ —	57,477	> 6300	$1773,75 \cdot 10^2$	— 0,47

Визуальные наблюдения за хлопком-сырцом в процессе его продувания показали, что равномерное протекание воздуха через весь слой может быть достигнуто при условии строгой равномерности его укладки. При неравномерной укладке слоя в процессе продувания образуются прорывы, через которые устремляется основная масса воздуха, не пронизывая всего уложенного слоя. В слое высотой до 200 мм при плотности укладки, равной единице, прорывы наблюдались уже при скорости потока воздуха, отнесенной к свободному сечению, равной 0,2—0,3 м/сек.

Исследование гидравлического сопротивления хлопком-сырца во вращающемся ситчатом барабане производилось на построенной нами опытной барабанной сушилке с перекрестным потоком воздуха. Она представляет собой цилиндрический барабан, выполненный из перфорированной стали, внутренний диаметр которого 0,5 м, а длина 2,5 м. Барабан установлен над камерой, в которую подается подогретый воздух. Для того, чтобы воздух проникал только внутрь барабана, по его длине и на торцах сделаны уплотнения из резиновой ленты. Привод к барабану выполнен в виде планетарного редуктора и ременной передачи,

что дало возможность изменять число оборотов барабана. Угол наклона барабана изменялся при помощи прокладок, расположенных под установкой.

Опыты проводились при скорости воздуха $\omega \approx 0,06 \div 0,3$ м/сек., числе оборотов барабана $n = 1,14; 2,18$ и $3,21$ об/мин, степени заполнения барабана $\beta = 40, 50, 60$ и 70% .

Опыты со степенью заполнения барабана $\beta = 40\%$ показали нереальность такого режима, так как при вращении барабана хлопок смещается в сторону его вращения, оголяет нижние продольные уплотнения и создает свободные проходы для воздуха.

По этой причине в дальнейших опытах степень заполнения $\beta = 40\%$ была исключена.

Как и в случае неподвижного слоя, во вращающемся барабане обнаружено два режима течения воздуха, граничащих при $Re_{кр} = 6600$. При этом различие двух режимов становится меньше с убыванием коэффициента заполнения барабана и практически исчезает при $\beta = 50\%$.

Результаты экспериментальных данных и в этом случае описываются уравнением (1), причем ζ и η оказываются функциями числа оборотов, степени заполнения барабана и режима потока воздуха. Численные значения ζ и η приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения ζ и η для вращающегося барабана

β %	1,14 об/мин				2,18 и 3,21 об/мин			
	$Re < 6600$		$Re > 6600$		$Re < 6600$		$Re > 6600$	
	ζ	η	ζ	η	ζ	η	ζ	η
50	9730	— 0,488	9730	— 0,488	$141,6 \cdot 10^2$	— 0,488	$141,6 \cdot 10^2$	— 0,488
60	$1010 \cdot 10^2$	— 0,678	$186 \cdot 10^2$	— 0,488	$1201 \cdot 10^2$	— 0,678	$213,8 \cdot 10^2$	— 0,488
70	$955 \cdot 10^2$	— 0,896	$259 \cdot 10^2$	— 0,488	$1048 \cdot 10^2$	— 0,896	$288 \cdot 10^2$	— 0,488

Анализ полученных результатов показал, что гидравлическое сопротивление хлопком-сырца во вращающемся барабане падает с уменьшением степени заполнения, но растет с увеличением числа оборотов барабана лишь до $n = 2,18$ об/мин. (при $n = 2,18$ об/мин гидравлическое сопротивление стабилизируется).

Сушка хлопком-сырца в барабанной сушилке с перекрестным потоком воздуха

Преимуществами барабанных аппаратов с перекрестным потоком агента сушки для сушки хлопком-сырца являются непрерывность действия, постоянное перемешивание хлопком и возмож-

ность обеспечения хорошего контакта последнего с воздухом. Наличие ситчатого барабана благоприятно также в смысле очистки хлопка.

Как указывалось, нами была построена экспериментальная сушилка с перекрестным потоком воздуха.

Первая серия опытов была проведена в горизонтально расположенном барабане при скоростях потока воздуха $\omega \approx 0,06; 0,17$ и $0,23$ м/сек., отнесенных к площади поперечного сечения барабана. Опыты велись при начальных температурах воздуха $t_1 \approx 105, 125$ и 145°C и числах оборотов барабана $n = 1,14; 2,18$ и $3,21$ об/мин.

Для определения влияния продольного перемещения хлопка-сырца была проведена вторая серия опытов при сушке в наклонном барабане. При этом угол наклона менялся от $37'$ до $1^\circ 8'$.

Для определения температуры хлопка-сырца в процессе его сушки были применены термисторы.

Во всех опытах по сушке исследованию подвергался хлопок-сырец 108Ф V и VI сортов с начальной абсолютной влажностью около 25% .

Так как опыты по исследованию сушки хлопка-сырца проводились в период, когда натуральный влажный хлопок отсутствовал, то возникла необходимость в искусственном увлажнении его. С этой целью была разработана специальная методика увлажнения хлопка-сырца.

Опытам по сушке хлопка-сырца предшествовали опыты по определению пропускной способности барабана и степени перемешивания в нем хлопка-сырца. Анализ полученных данных показывает, что различные факторы (степень заполнения, число оборотов, угол наклона барабана и скорость потока воздуха) различно влияют на величину пропускной способности барабана (G_6 кг/час). При этом наибольшее влияние оказывает число оборотов барабана в единицу времени (n об/мин.); пропускная способность барабана пропорциональна скорости его вращения.

Меньшее влияние на величину G_6 оказывает степень заполнения барабана ($\beta\%$), его угол наклона (α°) и скорость потока воздуха (ω м/сек.).

Наконец, на величину пропускной способности барабана неизбежно влияние удельного веса хлопка-сырца (γ_0 кг/м³) и диаметра барабана (D_6 м).

Путем обработки экспериментальных данных была получена следующая аналитическая зависимость:

$$G_6 = 1,07 \cdot D_6^2 \cdot \gamma_0 \cdot \omega^{0,228} \cdot \beta^{0,57} \cdot (\operatorname{tg} \alpha)^{0,285} \quad \text{кг/час} \quad (3).$$

Совершенно очевидно, что хорошее перемешивание хлопка-сырца улучшает процесс его сушки. Проведенные опыты показали, что изменение степени заполнения барабана на качество перемешивания хлопка (ξ) влияния практически не оказывает. Степень перемешивания зависит, в основном, от числа оборотов барабана в единицу времени (n об/мин.) и времени (τ мин.).

На основании данных опытов была получена следующая зависимость:

$$\xi = 9,5 \cdot n^{0,624} \cdot \tau^{0,1} \quad (4).$$

Уравнение (4) показывает, что на степень перемешивания хлопка в барабане в большей мере влияет время перемешивания, чем число оборотов. Это обстоятельство важно учесть при проектировании сушильных барабанов, поскольку время нахождения хлопка в барабане зависит не только от числа оборотов, но и от длины барабана и угла его наклона.

Последовательно изучая зависимость убыли влажности при сушке хлопка-сырца в горизонтально расположенном барабане (Δw_a) от скорости потока, температуры и влажности воздуха, степени заполнения барабана и времени сушки была получена следующая аналитическая зависимость:

$$\Delta w_a = (10,51 + 253,7 \omega) \cdot \beta^{0,321} \cdot \tau^{0,7} \cdot \varphi_0^{-0,1} \cdot \left(\frac{T_1}{1000} \right)^{5,37} \% \quad (5),$$

где $\Delta w_a = w_{1a} - w_{2a}$ — убыль влажности, %,

φ_0 — относительная влажность воздуха до калорифера в долях,

T_1 — абсолютная температура воздуха при входе в барабан.

В уравнении (5) не учтена фаза нагрева материала.

Как для проектирования, так и для эксплуатации хлопковых сушилок необходимо прежде всего знать напряжение рабочего объема барабана по влаге ($A = \frac{\Delta w}{V_6}$ кг/м³ час).

На основании приведенных уравнений (3) и (5) с учетом влияния начальной (w_{1a}) и конечной (w_{2a}) влажностей хлопка-сырца, а также с учетом фазы нагрева хлопка-сырца и особенностей перехода от периодической к непрерывной сушке было получено следующее уравнение:

$$A = 0,29(10,51 + 253,7 \omega) \cdot n^{0,3} \cdot \beta^{1,19} \cdot (\operatorname{tg} \alpha)^{0,0855} \cdot \varphi_0^{-0,1} \cdot \left(\frac{T_1}{1000} \right)^{5,37} \cdot \left(\frac{w_{2a}}{100 - w_{1a}} \right)^{0,2} \quad \text{кг/м}^3 \text{ час} \quad (6).$$

На основании уравнения (6), аналитическим путем было найдено уравнение для определения расхода тепла на 1 кг испаренной влаги:

$$q = \frac{317 \cdot 10^2 \cdot \gamma \cdot \varphi_0^{0,1} (J_1 - J_0)}{\left(\frac{10,51}{\omega} + 253,7\right) \cdot n^{0,3} \beta^{1,19} (\operatorname{tg} \alpha)^{0,0855} \left(\frac{T_1}{1000}\right)^{5,37} \left(\frac{w_{2a}}{100 - w_{1a}}\right)^{0,2}}$$

ккал/кг и. в. (7).

Как показали эксперименты, расход тепла на 1 кг и. в. в барабанной сушилке с перекрестным потоком воздуха колеблется вблизи 2400 ккал (без учета КПД калорифера).

Если сравнить полученные результаты с удельным расходом тепла в других типах барабанных сушилок для хлопка-сырца, то они могут быть признаны весьма благоприятными.

Путем качественного перемешивания хлопка-сырца в барабане при его естественной плотности укладки и в результате его пронизывания воздухом создается более качественный гидродинамический режим сушки. Об этом свидетельствуют также данные по температуре нагрева хлопка-сырца. Как показали эти исследования, при сушке хлопка-сырца в барабанной сушилке с перекрестным потоком воздуха его температура возрастает быстрее, нежели в других типах барабанных сушилок при меньших начальных температурах воздуха.

ВЫВОДЫ

1. Улучшение процесса тепломассообмена при сушке хлопка возможно, в первую очередь, путем создания благоприятных гидродинамических условий (равномерное распределение воздуха и материала в рабочем объеме, их хороший контакт и оптимальные скорости). Эти условия не достигнуты в предложенных и испытанных барабанных сушилках, где отмечается малая степень заполнения барабана, неравномерное распределение хлопка по сечению барабана, образование больших свободных каналов для воздуха, играющих роль „вредного пространства“.

Вследствие плохого и неравномерного контакта воздуха и хлопка, предложенные до сих пор барабанные сушилки характеризуются относительно большим удельным расходом тепла и низким напряжением рабочего объема барабана по влаге.

2. Улучшение внутреннего тепломассообмена, увеличение напряжения рабочего объема барабана по влаге и уменьшение удельного расхода тепла могут быть достигнуты в сушилке, где хлопок-сырец, интенсивно перемешиваясь, перемещается вдоль ба-

рабана при естественной плотности его укладки и пронизывается перекрестным потоком агента сушки.

3. В работе исследованы:

а) зависимость гидравлического сопротивления неподвижного слоя хлопка-сырца от скорости воздуха, высоты слоя хлопка и плотности его укладки — при всасывании и нагнетании воздуха.

б) зависимость гидравлического сопротивления хлопка-сырца во вращающемся барабане от скорости потока воздуха, степени заполнения и числа оборотов барабана.

Экспериментальные данные по гидравлическому сопротивлению хлопка-сырца обработаны с помощью теории подобия и установленные закономерности описаны критериальными уравнениями.

4. Установлена функциональная зависимость пропускной способности барабана от диаметра, числа оборотов, степени заполнения и угла наклона барабана, скорости потока воздуха и насыпного удельного веса хлопка-сырца. При данном диаметре барабана наибольшее влияние на величину пропускной способности оказывает число его оборотов в единицу времени, меньшее влияние — степень заполнения барабана, его угол наклона и скорость потока воздуха.

5. Установлена функциональная зависимость степени перемешивания хлопка-сырца от числа оборотов барабана и времени. Полное перемешивание наступает на 10-ой минуте при $n = 1,13$ об/мин, на 7-ой минуте при $n = 2,18$ об/мин., на 6-ой минуте при $n = 3,21$ об/мин. При этом не обнаружено влияние степени заполнения барабана в пределах $\beta = 50 \div 70\%$.

6. Установлена функциональная зависимость убыли влажности хлопка-сырца в барабанной сушилке с перекрестным потоком воздуха от скорости потока, температуры и влажности воздуха, степени заполнения барабана и времени сушки.

7. Установлена функциональная зависимость расхода тепла на 1 кг испаренной влаги при сушке хлопка-сырца в барабанной сушилке с перекрестным потоком воздуха от скорости потока, температуры и влажности воздуха, степени заполнения, числа оборотов и угла наклона барабана, начальной и конечной влажности хлопка-сырца.

8. Установлена функциональная зависимость напряжения рабочего объема барабана по влаге при сушке от скорости потока и влажности воздуха, степени заполнения, числа оборотов и угла наклона барабана, начальной и конечной влажности хлопка-сырца.

9. Полученные значения удельного расхода тепла ниже, а напряжение рабочего объема барабана по влаге выше, нежели в

других типах барабанных хлопковых сушилок, что свидетельствует о большей экономичности предлагаемого метода сушки.

10. Установленные аналитические зависимости дают возможность производить:

а) тепловой расчет барабанной сушилки с перекрестным потоком воздуха;

б) расчет основных размеров барабана (диаметр и длина).

11. Установлено, что при сушке хлопка-сырца в барабанной сушилке с перекрестным потоком воздуха его температура возрастает быстрее, нежели в других типах барабанных хлопковых сушилок. Это является следствием более качественного гидродинамического режима, осуществляемого в предлагаемом методе сушки

97864.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. Киргизской ССР