

РАЗРАБОТКА БАРАБАННОЙ СУШИЛКИ МАЛОГАБАРИТНОЙ КОНСТРУКЦИИ С ЦЕПНЫМ ПРИВОДОМ

Тошмирзаев К.О

Ферганский государственный технический университет

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

АННОТАЦИЯ:

ИСТОРИЯ СТАТЬИ:

Received: 20.10.2025

Revised: 21.10.2025

Accepted: 22.10.2025

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

*конструкция, сушилка,
хлопок-сырец, цепная
передача, опорные катки,
сила, мощность,
изготовление*

В статье приведены результаты работ по разработке барабанной сушки малогабаритной конструкции с цепным приводом. Выбрана схема цепной передачи, теоретическими исследованиями определены усилия приходящее на катки, необходимую мощность, затрачиваемую на подъём барабанной сушки. Также приведены результаты по разработке и изготовление основных узлов и сбор барабанной сушки с цепным приводом.

Введение. Применяемые в настоящее время в непрерывном технологическом процессе хлопкозавода барабанные сушки типа 2СБ-10 первоначально предназначались для сушки хлопка-сырца низких сортов с высокой влажностью и засоренностью на заготовительных пунктах с целью обеспечения его сохранности в течение последующего хранения в бунтах и хранилищах при соблюдении требований технологического регламента по принудительному отсосу из них воздуха.

В этих сушилках время пребывания хлопка-сырца в зависимости от расхода сушильного агента составляет 6-8 мин, в течение которых обеспечивается сушка не только волокна, но и семян, что необходимо при сушке хлопка-сырца с влажностью более 14%, но нецелесообразно при сушке хлопка-сырца с меньшей влажностью, так как приводит к уменьшению массы семян.

Для увеличения интенсивности сушки необходимо повысить теплообмен тела с окружающей средой, что можно достигнуть увеличением коэффициента теплообмена. Однако повышение теплообмена затрудняется пограничным слоем у поверхности материала, через который тепло передаётся материалу, так как теплопроводность воздуха очень мала. Следовательно, коэффициент теплопередачи зависит от теплопроводности и толщины пограничного слоя. На его толщину влияет скорость движения воздуха и плотность слоя.

По результатам работы [1, 2], вытекает вывод о том, что в период постоянной скорости сушки с интенсивным использованием сушильного агента влагосодержание воздуха за 2 мин увеличивается от 4,8 до 34,1 г/кг сухого воздуха. Дальнейшее изменение влагосодержания протекает медленно, так как в период падающей скорости интенсивность сушки резко снижается из-за повышения парциального давления пара в воздухе. По истечении 1 мин парциальное давление водяного пара в воздухе повышается от 67,9 до 320 Н/м². Таким образом, по мере протекания процесса сушки влагопоглощающая способность агента уменьшается из-за снижения температуры и повышения парциального давления пара в воздухе.

Эксплуатация сушилок типа 2СБ-10 и исследования по их усовершенствованию и модернизации показали, что они имеют существенные и определенные недостатки. Расход тепла сушильного агента непосредственно на сушку хлопка-сырца составляет 35-40%, остальное тепло в основном теряется с выбрасываемым в атмосферу отработанным сушильным агентом, который к тому же загрязняет окружающую среду [1, 3]. При этом рециркуляция сушильного агента практически невозможна из-за его засоренности и влажности. Предпринятые ранее попытки применения для нагрева или подогрева генерируемого сушильного агента электрических нагревательных элементов не имели успеха.

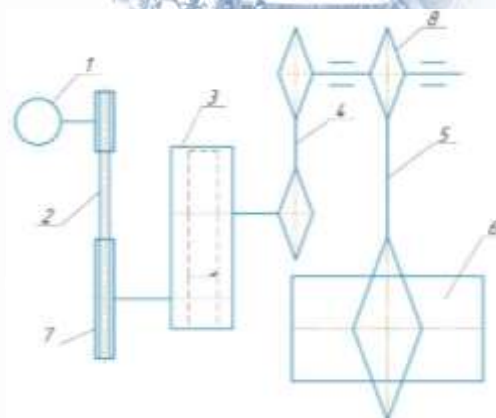
Барабанные сушилки имеют большие габариты и громоздкую конструкцию с тяжелым редуктором. В барабанах одновременно находится до 1,5 тонн хлопка-сырца, что осложняет ликвидацию пожаров.

Для сушки разных сыпучих, комковых материалов применяется сушильные барабаны разной конструкции [4, 5, 6]. В них для вращения барабана используется привод с цепной передачей, которая является более современным, надёжным и энергосберегающим. Так как, по сравнению с приводом применяемых в хлопковых сушилках 2СБ-10 имеет место снижение энергопотребления, потому что в нем

увеличена плечо передачи силы тяги до величины радиуса барабана (в барабанных сушилках 2СБ-10 это плечо равно расстоянию от диаметра центральной оси барабана до оси редуктора). Кроме того, в цепной передаче имеется возможность неравномерного вращения барабана, из-за имеющего зазора между шагом цепи и зубчатого венца.

Исходя из вышеописанного, исследования, направленные на разработку сушильного барабана, принципиально новой малогабаритной конструкции, является актуальной задачей. Предварительными расчетами выбрана диаметр барабана равным 2000 мм, длина 6000 мм, соответственно, уменьшаются параметры внутренних продольных и поперечных перегородок по сравнению с существующим барабаном 2СБ-10.

Принимая во внимание анализ работ, выполненных в отделе сушки, очистки и обеспыливания производства АО "Paxtasanoat ilmiy markazi", выбрали схему цепной передачи (рис. 1) для хлопкосушилки с уменьшенными геометрическими размерами для дальнейшей научно-исследовательской работы по разработанному техническому решению [7, 8, 9].



1-электродвигатель, 2-ременная передача, 3-редуктор, 4, 5 –цепная передача, 6 – малогабаритный сушильный барабан, 7- шкив, 8- звездочка.

Рисунок 1. Кинематическая схема привода цепной передачи предложенный к малогабаритный сушильный барабан.

Методы исследования. Теоретические исследования проведены с использованием законов механики, гидравлики, механики газовых смесей, алгебры, начертательной геометрии и специально разработанных методик. Разработана схема

цепной передачи с опорными катками технологического оборудования барабанной сушилки для сушки хлопка и подготовлен ее экспериментальный экземпляр.

Теоретические исследования. При теоретическом исследовании использованы материалы литературных источников [10, 11, 12]. С целью определения расчета нагрузки на звездочку рассмотрим схему представленную на рис 2. Здесь мы видим, что барабанная сушилка приводится во вращения от цепной передачи, при чем звездочка на барабане находится по середине. Зная, массу барабана и коэффициент трения между опорами крутящий момент приходящийся для вращения, но в начале определим значения коэффициента трения качения на цапфе и его можно определить из значения контакта формулы Герца Биляева:

$$2c = 4 \sqrt{p \frac{1-\mu^2}{\pi} \frac{E_1+E_2}{E_1E_2} \frac{d_{кат}D_{катц.н}}{2(d_{кат}+D_{катц.н})}} \quad (1)$$

где p - сжимающая нагрузка на единицу длины H ;

μ - коэффициент Пуансона;

E_1, E_2 - модуль упругости ролика и цапфы;

$d_{кат}, D_{катц.н}$ - радиус цапфы и ролика соответственно, м;

Мы получим площадку контакта, а так как коэффициент трения качения является по сути дела, это точка на расстоянии между прямыми, вдоль которых действуют прижимающая сила и нормальная составляющая реакции опоры, то есть по сути дела деформация и материалы у нас одни и те же, используя (1) можно записать значения коэффициента трения качения следующим образом:

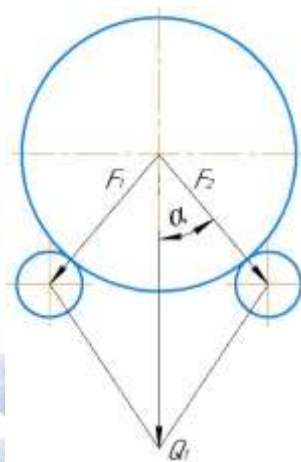
$$k_1 = 2 \sqrt{p \frac{1-\mu^2}{\pi} \frac{2}{E} \frac{d_{кат}D_{катц.н}}{2(d_{кат}+D_{катц.н})}} \quad (2)$$

Зная общий вес барабана M и вес хлопка сырца m можно определить усилия, приходящие на катки:

$$F_1 = (m + M) g \cos \alpha \quad (3)$$

Исходя, что катков двое силу можно умножить на 2, ну так как опоры у нас с двух сторон то и поделить

$$N_1 = F_1$$

**Рисунок 2. Схема действия сил на катки**

Определим суммарную силу трения $F_{\text{тр,кат}}$ от опорных катков

$$F_{\text{тр,кат}} = k_1(m+M)g \cos \alpha = 2 \sqrt{\rho \frac{1-\mu^2}{\pi} \frac{2}{E} \frac{d_{\text{кат}} R_{\text{кату,н}}}{2(d_{\text{кат}} + R_{\text{кату,н}})}} (m+M)g \cos \alpha$$

Вторая цапфа находится в подшипники скольжения, в таком случае ее коэффициент трения k_2 можно взять из справочных данных, в таком случае сила трения, приходящая на нее будет равна:

$$F_{\text{тр,цап}} = k_2 \frac{(m+M)}{2} g \quad (4)$$

$F_{\text{тр,цап}}$ - сила трения на цапфе, Н.

Но помимо этого барабан совершает работу по подъёму хлопка сырца на высоту, которую можно будет вычислить по следующей формуле:

$$A = m_1 g (h - h_0) \quad (5)$$

где: m_1 - масса поднимаемую хлопка-сырца на высоту примем ее 1/3 часть от массы хлопка сырца, кг;

h - конечная высота подъема, м;

h_0 - начальная высота подъема, м.

Зная работу и время, затрачиваемое на подъём массы хлопка-сырца, получим затрачиваемую мощность. Время подъема можно определить из числа оборотов барабана (рис. 3) по следующей формуле:

$$t = \frac{\beta}{\omega} = \frac{30\beta}{\pi n} \quad (6)$$

Где β - угол поворота от нижней точки до точки падения, рад;

n - число оборотов барабана.

Теперь определим мощность, затрачиваемую на подъём барабанной сушилки

$$N = \frac{A}{t} = \frac{m_1 g (h - h_0) \pi n}{30\beta} \quad (7)$$

Примем h_0 равным нулю, тогда высота подъёма массы можно будет найти по следующей формуле:

$$h = \frac{D}{2} + D \cos \beta \quad (8)$$

Зная формулу для определения крутящего момента то можно воспользоваться и определить крутящий момент, причем m_1 - массу примем её 1/3 от массы хлопка сырца

$$M_{кр} = \frac{N}{\omega} = \frac{m_1 g \left(\frac{D}{2} + D \cos \beta \right)}{\beta} = \frac{mg \left(\frac{D}{2} + D \cos \beta \right)}{3\beta} \quad (9)$$

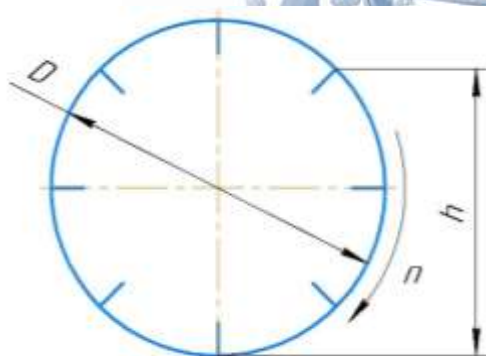


Рисунок 3. Расчётная схема барабанной сушилки

И так имея значения сил и полезный крутящий момент, определим общий момент, приходящий на приводную звёздочку.

$$M_{об} = M_{кат} + M_{чан} + M_{пол} = d_{кат} \sqrt{p \frac{1-\mu^2}{\pi} \frac{2}{E} \frac{d_{кат} D_{кату.н}}{2(d_{кат} + D_{кату.н})}} (m+M) g \cos \alpha +$$

$$+ d_{чан} k_2 \frac{(m+M)}{4} g \frac{mg \left(\frac{D}{2} + D \cos \beta \right)}{3\beta} \quad (10)$$

Определим мощность электродвигателя (рис. 1) с учётом потери мощности на промежуточных передачах по следующей формуле:

$$N_{эл} = \frac{N_{бар}}{\eta_{у.н} \eta_{у.п} \eta_{р.н} \eta_{ред} \eta_{р.п}} = 1,5 N_{бар} \quad (11)$$

$\eta_{у.н}$ - к.п.д. цепной передачи к барабану 0,96; $\eta_{у.п}$ - к.п.д. цепной передачи от редуктора к шпинделю 0,96; $\eta_{р.н}$ - к.п.д. ременной передачи 0,8; $\eta_{ред}$ - к.п.д. редуктора 0,9.

$$N_{эл} = 1,5 N_{бар} \omega = 0,157 N_{бар} n =$$

$$= 0,157 n g \left(d_{кат} \sqrt{p \frac{1-\mu^2}{\pi} \frac{2}{E} \frac{d_{кат} D_{кату.н}}{2(d_{кат} + D_{кату.н})}} (m+M) \cos \alpha + d_{чан} k_2 \frac{(m+M)}{4} g \frac{m \left(\frac{D}{2} + D \cos \beta \right)}{3\beta} \right) \quad (12)$$

Из практики мы знаем, что критическое число оборотов можно вычислить по следующей формуле:

$$\omega_0 = 0,4 \omega_{кр} = 0,4 \sqrt{\frac{g}{R_6}}, \text{ рад/с} \quad (13)$$

где $g=9,8 \text{ м/с}^2$ ускорение свободного падения;

R_6 - радиус барабана в м.

Используя формулы (12) и (13) найдем крутящий момент для привода барабана:

$$M_{об} = \frac{N}{\omega_{кр}} \quad (14)$$

Выбор цепи осуществим на основании следующих формул:

$$p = \frac{2 M_{об} K_3}{d_{звез} i b d_6} \quad (15)$$

где: $d_{звез}$ - диаметр ведомой звездочки, м;

d_6 и b — диаметр валика (оси) и ширина цепи, равная длине втулки;

k_3 — коэффициент эксплуатации цепной передачи;

i - коэффициент эксплуатации.

Изготовление сушильного барабана с цепным приводом. По подготовленным чертежам был открыт наряд-заказ для изготовления экспериментального образца привода сушильного барабана на МЧЖ «Ижод» при АО "Paxtasanoat ilmiy markazi".

Самый сложный процесс при изготовлении привода была изготовление зубчатого венца, длина которого должна быть равной периметру разработанной барабанной сушилки.

Известно, что диаметр разработанного сушильного барабана равна 2000 мм. Из-за большого размера, не имеется возможности изготовления зубчатого венца целиком. Поэтому его изготовили отдельным. Длина каждой части зубчатого венца равна 1506 мм, как показана на рис.4. Кроме того ширина зубчатого венца должна быть не менее 28 мм, поэтому каждая часть состоит из трех листов, соответственно толщиной 8 мм две шт и толщиной 10 мм одна шт. Фрагмент изготовления и сборки зубчатого венца (слева) и ведущего цепного привода (справа) показана на рис. 4.



Рисунок 4. Фрагмент процесса изготовления зубчатого венца и ведущего цепного привода

На отдельном площадке, согласно разработанной схеме привода был собран ведущий привод барабана, состоящий в основном из электрического двигателя мощностью 7,5 кВт, скоростью вращения равным 1430 об/мин, редуктором с передаточным отношением 1 к 31,5 (рис.4). С учетом рекомендованной скорости

вращения барабанной сушилки, которая равна 10-12 об/мин подобрана диаметры шкивов и звездочек, устанавливаемых на ведущий привод показанный на рис.4.



Рисунок 5. Общий вид цепи необходимой длины и роликовых опор

В соответствии с размерами зубчатого венца, подобрана цеп с необходимой длиной и изготовлены 4 комплекта роликовых опор (рис.5).



Рисунок 6. Общий вид барабанной сушилки с цепным приводом

После изготовления собран ведущий привод барабана, выполнены работы по его комплектованию двигателем, ремнями, подшипниками и т.д. Укомплектованный

привод барабана проверена на работоспособность, определена обороты вращения основной звездочки, которая должна обеспечить необходимые скорости вращения барабанной сушилки. Фактический скорость вращения основной звездочки определяли с помощью стандартного тахометра. Диаметр ведущей основной звездочки выбран равным 284,6 мм, с соответствующим зубом (аналогичные как у большого зубчатого венца) в количестве 16 шт.

Замеры скорости вращения основной звездочки показали, что при применение выбранных шкивов и звездочек и применения электрического двигателя со скоростью вращения равной 1430 об/мин, фактический оборот вращения барабанной сушилки составляет 10-12 об/мин.

Направлением дальнейших исследований является обоснования основных параметров барабанной сушилки и цепного привода экспериментальными исследованиями.

Заключение. Принимая во внимание анализ работ, выполненных в отделе сушки, очистки и обеспыливания производства АО "Paxtasanoat ilmiy markazi", выбрана схема цепной передачи для хлопкосушилки с уменьшенными геометрическими размерами для дальнейшей научно-исследовательской работы. Теоретическими исследованиями определены усилия приходящее на опорные катки барабана, определена общий момент, приходящий на приводную звёздочку, необходимую мощность, затрачиваемую на подъём барабанной сушилки. По разработанным конструктивным чертежам изготовлены основные узлы и собрана барабанная сушилка с цепным приводом.

Использованная литература

1. Балтабаев С.Д., Парпиев А.П. Сушка хлопка-сырца. Учебник. Ташкент. «Укитувчи» 1980.-139 с.
2. Салмин К.М., Исканов Д. Исследование температурного режима сушки хлопка-сырца в прямоточном сушильном барабане. //Хлопковая промышленность. Ташкент. 1980 №1 с.5-6.
3. Ульдяков А.И. Сушка хлопка-сырца. М., «Легкая индустрия», 1975. 143 с.
4. Сажин, Б.С. Научные основы техники сушки / Б.С. Сажин, В.Б. Сажин. – М.: Наука, 1997. – 448 с.

5. <https://msd.com.ua/sushka-i-xranenie-semyan-podsolnechnika/proizvodstvo-barabannyx-sushilok-dlya-puxa-i-pera/>

6. <https://agrobook.ru/blog/user/d-mir/ustroystvo-privodnyh-mehanizmov-sushilnyh-barabanov-doza-gran>

7. Джамалов Р.К., Назиров Р.Р. и др. «Разработка ресурсосберегающей технологии сушки и его внедрение в производства». НТО, «Paxtasanoat ilmiy markazi» АЖ. Ташкент, 2021. 38 с.

8. <http://xn--11amhh.xn--p1ai/uchebnik/TOO/620.php> Вращающиеся барабанные аппараты, их конструктивные узлы. Расчет элементов конструкции.

9. 55. <http://www.detalmach.ru/primer1.htm> Выбор электродвигателя и кинематический расчет привода.

10. Алтухов А.В. Моделирование и расчет барабанных сушильных агрегатов. Наука и образование Южного Казахстана. Серия: Механика и машиностроение., 1, 1995, с. 325-329.