



УДК 631.563.2

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗА ШАХТНЫХ ЗЕРНОСУШИЛОК

Н.М.Андрианов, А.В.Николаенко

Институт сельского хозяйства и природных ресурсов НовГУ, Nikolay.Andrianov@novsu.ru

Представлены результаты исследования течения газа в шахтных зерносушилках. Показано, что увеличение длины распределительных коробов ведет к ухудшению равномерности условий сушки. Предложены методы рационального распределения потоков газа, повышающие равномерность и интенсивность сушки.

Ключевые слова: зерносушилка шахтная, система распределения газа, оптимизация

The research results of gas flow in shaft grain-dryers are given. It is shown that the increase in the length of distribution ducts results in deterioration of the drying process uniformity. Some methods of balanced distribution of gas flow that increase the drying uniformity and intensity are suggested.

Keywords: shaft grain-dryer, gas distribution system, optimization

Для снижения материалоемкости шахтных сушилок в последние годы пытаются увеличить длину их газораспределительных коробов [1]. Вместе с тем известно, что теплоноситель (газ) вдоль коробов распределяется неравномерно [2-4], что обуславливает неравномерную сушку зерна. Эти обстоятельства потребовали более тщательного изучения последствий от формального внедрения предлагаемых решений и разработки мероприятий, направленных на выравнивание расходов газа в сушильном пространстве.

В результате моделирования сушилок с различной длиной распределительных коробов (500, 1000, 1500, 2000 мм) установлено, что с увеличением их длины значительно ухудшается равномерность условий сушки зерна. Коэффициент неравномерности расходов газа по длине короба возрастает значительно быстрее, чем его длина. Эта зависимость (рис.1) имеет параболический характер изменения.

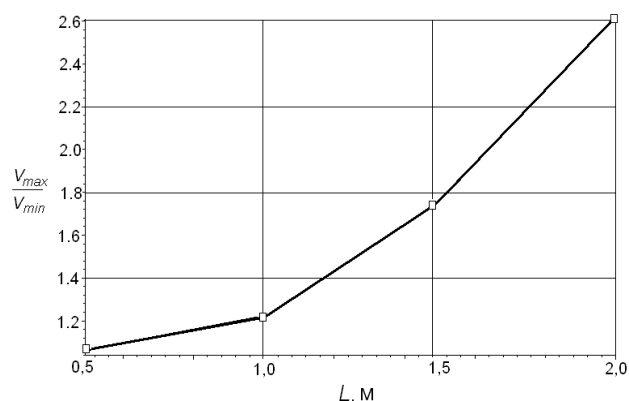


Рис. 1. Зависимость коэффициента неравномерности расходов газа от длины распределительного короба

Экспериментально установлено, что с увеличением длины коробов приращение расходов газа в

зерновой слой происходит значительно медленнее, чем увеличивается их длина, а удельная подача газа на единицу объема сушильной камеры существенно уменьшается (табл.1).

Таблица 1
Влияние длины коробов на подачу газа в зерновой слой

Показатель	Длина короба, мм		
	1000	1250	1500
Относительное значение скорости газа по отношению к коробу длиной 1000 мм	1,0	1,103	1,162
Относительное значение удельной подачи газа на единицу объема сушильной камеры по отношению к коробу длиной 1000 мм	1,0	0,883	0,775

Таким образом, формальное увеличение длины коробов не обеспечивает пропорционального увеличения производительности сушильных камер, наоборот, их технико-экономические показатели ухудшаются.

Решение задачи выравнивания условий сушки зерна [5-7] фактически снимает ограничение на длину распределительных коробов и обеспечивает возможность уменьшения материалоемкости шахтных сушилок. На этой основе должны вырабатываться подходы к проектированию новых серий зерновых сушилок шахтного типа.

В результате выполненных исследований удалось найти ряд технологических и технических решений, позволяющих нужным образом перераспределить потоки газа и теплоты в шахтной зерносушилке. Типичные оценки распределения скоростей течения газа вдоль распределительных коробов выглядят следующим образом (рис.2).

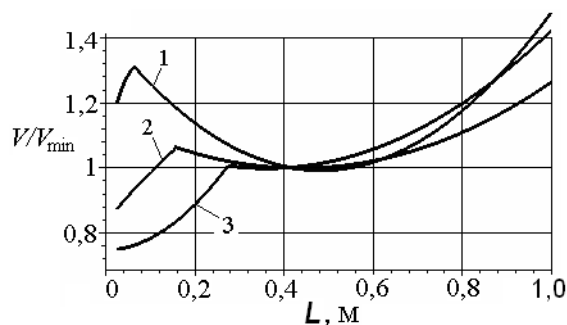


Рис.2. Изменение относительных значений скорости течения газа в зерновом слое вдоль распределительных коробов: 1) $V_B = 0$ м/с; 2) $V_B = 4$ м/с; 3) $V_B = 8$ м/с

Задача выравнивания условий сушки распадается на две части. В начальной части коробов на отрезке 0–0,25 м наблюдается зона с меньшими значениями скорости, что подтверждает наличие зоны пониженной фильтрации. Это объясняется тем, что в шахтных сушилках теплоноситель к подводящим коробам подают по подводящей камере снизу. При входе в короб под действием разности статических давлений частицы газового потока должны изменить траекторию движения на угол от 90 до 180°. Под действием инерционных сил частицы в начале короба определенное время сохраняют вертикальную составляющую скорости (V_B) и движутся по искривленной траектории вглубь него. Искривлению траектории способствует соударение частиц между собой и верхними гранями короба, в результате чего динамическое давление (скоростной напор) переходит в статическое и в верхней начальной части короба образуется зона повышенного статического давления. В нижней части короба (в результате «облёта») образуется зона разрежения, в которой наблюдается пониженная фильтрация теплоносителя в зерне.

С увеличением V_B протяженность зоны пониженной фильтрации возрастает (табл.2), что является следствием действия на частицы газового потока больших инерционных сил. Протяженность зоны пониженной фильтрации достигает 0,25 длины короба и более. Полученные данные подтверждают, что равномерность условий сушки в нижних зонах сушильной камеры хуже, чем в верхних, так как вертикальная составляющая скорости V_B на входе нижних рядов коробов выше. Увеличение высоты сушильной камеры также ведет к снижению равномерности сушки, поскольку вертикальная составляющая скорости V_B возрастает.

Таблица 2
Зависимость размеров зоны пониженной фильтрации от скорости воздуха

Переменная	Значение		
Вертикальная составляющая скорости, V_B м/с	0	4,0	8,0
Размеры зоны от начала короба, м	0,07	0,16	0,25

Улучшение равномерности условий сушки можно обеспечить, если минимизировать влияние

вертикальной составляющей скорости газа V_B . Решить эту задачу можно двумя путями. Один из них предполагает изменение направления подвода газа. Установлено, что в сушильных камерах при подводе газа сбоку (в торец короба, так, как это было реализовано, например, в сушилках серии СЗС) зона пониженной фильтрации в начальной части короба минимальна (см. табл.2 и рис.2 при $V_B = 0$ м/с). Однако такое решение требует сложных конструктивных изменений подводящей камеры.

Эту же задачу можно решить проще — установкой на каждый короб со стороны подводящей камеры специальной насадки (рис.3) [6,10]. Продольный профиль насадки имеет форму поперечного сечения короба, ее боковые грани газонепроницаемы, а торцевые открыты. Она закрепляется на стенке камеры сушки так, чтобы одна из ее торцевых поверхностей плотно прилегала к торцевой поверхности короба, а вторая была открыта для поступления газа. Газ, движущийся по подводящей камере снизу (с вертикальной скоростью V_B), попадает в подводящий короб только через насадку. Место входа газа в открытую торцевую поверхность насадки отстоит от открытой торцевой поверхности короба на расстоянии L , равном длине нижней грани насадки. В насадке направление движения газа изменяется с вертикального на горизонтальное, при котором $V_B = 0$ м/с. Длина L выбирается такой, чтобы обеспечить устранение вертикальной составляющей скорости газа.

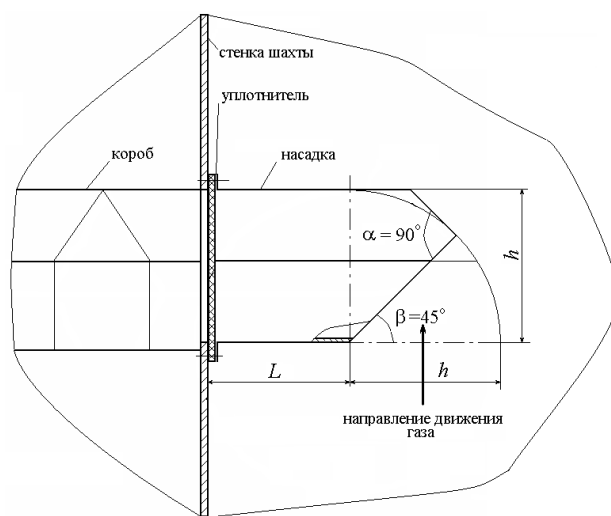


Рис.3. Схема установки насадки на подводящий короб

Войдя в короб (при $V_B = 0$ м/с), под действием разности давлений газ сразу поступает в зерно, тем самым не только исключается зона пониженной фильтрации, но и увеличивается скорость фильтрации газа в зерновом слое в начальной части коробов. Это приводит к увеличению интенсивности сушки и производительности сушилки [9,10].

Вторая часть задачи сводится к выравниванию скоростей теплоносителя в остальной части коробов (рис.2). Течение газа здесь исследовали методами моделирования и экспериментально [3,4,8]. Подтверждено, что вдоль распределитель-

ных коробов поле расходов газа неравномерное. Наибольших значений скорости газа достигают в начале и конце короба, наименьших – в его центральной части. Кратность изменения скорости газа вдоль короба $V_{\max}/V_{\min} = 1,3\text{—}1,8$.

Влажность W и скорость перемещения зерна V_3 влияют на абсолютные значения скорости газа в зерновом слое. При изменении влажности W от 30 до 14% скорость газа уменьшается в 1,08-1,19 раза, а при изменении скорости зерна V_3 от 8 до 0 мм/с скорость газа уменьшается в 1,07-1,21 раза. Их совокупное влияние приводит к изменению скорости в 1,19-1,25 раза. Культура зерна существенного влияния на скорость газа не оказывает.

Преобразование абсолютных значений скорости газа в относительные позволило установить, что по множеству выполненных опытов они укладываются в узкую ленту (рис.4), максимальная ширина которой не превышает 0,06 от возможного диапазона скоростей. Этим подтверждается, что качественный характер изменения поля скорости по длине короба определяется не видом зерна, его влажностью или скоростью перемещения, а аэродинамической структурой сушильной камеры.

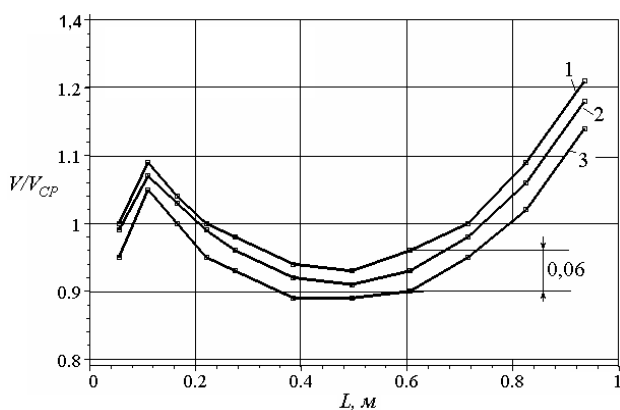


Рис.4. Сравнение относительных значений скорости газа вдоль распределительного короба, полученных по множеству опытов: 1 — граница максимальных значений; 2 — средние значения; 3 — граница минимальных значений

Для исправления гидродинамической ситуации предложено нетрадиционное для практики зерносушения технологическое решение — изменение сопротивления зернового слоя вдоль короба. Оно технически реализуется применением устройства [7] для сушилок, у которых подводящие и отводящие короба расположены в одном ряду, и применением устройства [5] для сушилок, у которых подводящие и отводящие короба расположены в разных рядах.

Течение газа между перфорированными коробами (рис.5) осуществляется следующим образом. Через перфорированную область 7 стенок подводящего короба 4 часть газа свободно проникает в слой зерна и по укороченному пути (путь показан стрелкой) течет к открытой донной поверхности соответствующих отводящих коробов 5 либо полукоробов 6, расположенных в соседнем верхнем ряду. Другая часть газа через открытое дно короба 4 поступает в зерновой слой и движется по укороченному пути к перфорированной поверхности 7 соответствующих отводящих коробов либо полукоробов, расположенных в соседнем нижнем ряду. Таким образом, как для верхнего, так и для нижнего ряда отводящих коробов симметрично выполняется условие течения газа по укороченному пути. За счет укорачивания длины линий тока обеспечивается уменьшение аэродинамического сопротивления зернового слоя в соответствующей части короба и создаются условия для увеличения расхода газа. Желаемый закон изменения длины линий тока вдоль короба задается нелинейной верхней границей 8 области перфорации.

Экспериментально подтверждено (рис.6), что выполнение перфорации коробов позволяет благоприятным образом изменить аэродинамическую структуру камеры сушки и охлаждения [3,4], обеспечивая повышение равномерности и интенсивности сушки зерна. Результатом является более равномерное распределение газа в зерновом слое. Кратность изменения скорости газа вдоль короба уменьшается до значений $V_{\max}/V_{\min} = 1,04\text{—}1,06$. Абсолютные значения скорости газа в центральной части коробов увеличиваются в 1,17-1,34 раза, что ведет к увеличению удельной подачи газа в зерновой слой в 1,1-1,24 раза.

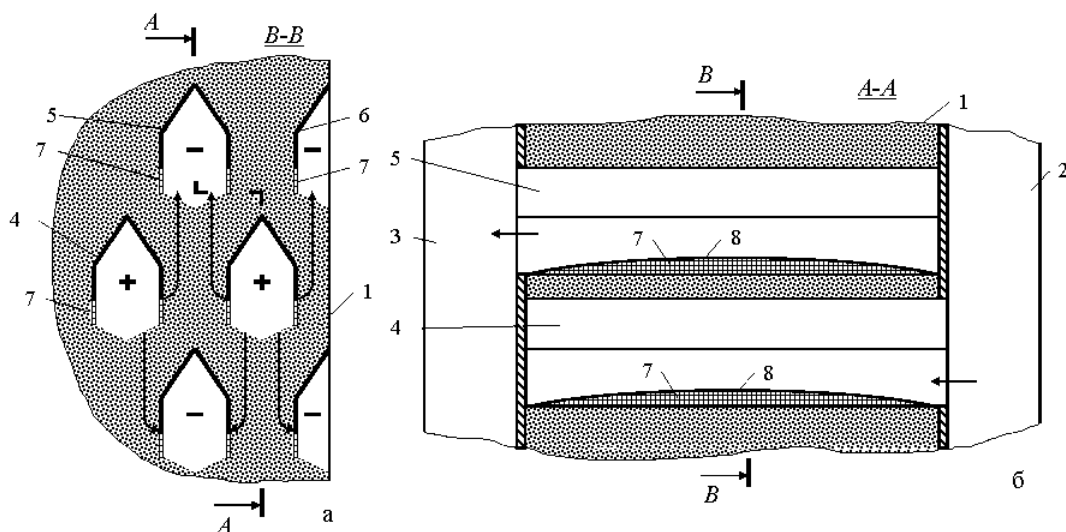


Рис.5. Устройство распределения газа в шахтной сушилке: а — поперечный разрез сушильного пространства; б — продольный разрез

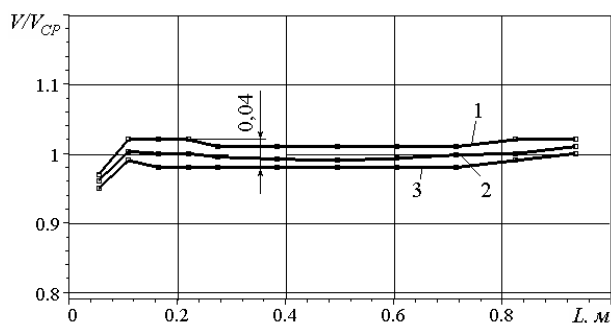


Рис.6. Сравнение относительных значений скорости газа вдоль короба, полученных по множеству опытов, в сушилке с перфорированными коробами: 1 — граница максимальных значений; 2 — средние значения; 3 — граница минимальных значений

Выводы

1. В сушилке с перфорированными коробами обеспечиваются более равномерные условия сушки. Кратность изменения скорости газа вдоль короба составляет $V_{\max}/V_{\min} = 1,04—1,06$.

2. Увеличивается интенсивность сушки и охлаждения зерна. Скорости газа в центральной части коробов увеличиваются в 1,17-1,34 раза, что ведет к увеличению удельной подачи газа в зерновой слой в 1,1-1,24 раза.

3. Предложенные решения малозатратны и технологичны при изготовлении коробов с перфорацией, так как все короба (подводящие и отводящие), в силу симметричности решения задачи, имеют одинаковую область перфорации и сохраняют традиционную форму. Обеспечивается возможность проектирования сушилок с увеличенной длиной коробов без ухудшения их технико-экономических показателей.

1. Чижииков А.Г., Окунь Г.С. Разработка зерносушилок высокой производительности на модульном принципе // НТБ ВИМ. Вып.53. М., 1983. С.35-37.
2. Платонов П.Н., Веремеенко Е.И. О газораспределении по длине короба шахтной зерносушилки // Изв. ВУЗов: Пищевая технология. 1966. №6. С.73-76.
3. Андрианов Н.М. Повышение интенсивности и равномерности условий сушки и охлаждения зерна в шахтных сушилках // Мат. междуна. науч.-техн. семинара «Актуаль-

ные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов». Воронеж, 2010. С.296-302.

4. Андрианов Н.М. Оптимизация структуры потоков газа и теплоты в шахтных зерносушилках // Хранение и переработка зерна. 2010. № 1 (137). С.60-62.
5. Андрианов Н.М. Устройство распределения газа в шахтной зерносушилке / Патент РФ № 2269079. 2006. Бюл. №3.
6. Андрианов Н.М. Устройство распределения газа в шахтной зерносушилке / Патент РФ № 2359187. 2009. Бюл. №17.
7. Положительное решение о выдаче патента на изобретение по заявке РФ 2010154351 от 27.01.2012. Устройство распределения газа в шахтной зерносушилке / Н.М. Андрианов.
8. Андрианов Н.М. Особенности газораспределения по длине коробов в шахтной зерносушилке // Техника в сельском хозяйстве. 2004. №5. С.20-22.
9. Андрианов Н.М. Как улучшить сушку зерна // Сельский механизатор. 2008. № 9. С.17-20.
10. Андрианов Н.М. Устройство распределения газа в шахтной зерносушилке // 100 лучших изобретений России. Вып.3: 2009. М.: ИНИЦ «ПАТЕНТ», 2010. С.167-168.

Bibliography (Transliterated)

1. Chizhikov A.G., Okun' G.S. Razrabotka zernosushilok vysokoy proizvoditel'nosti na modul'nom principe // NTB VIM. Vyp.53. M., 1983. S.35-37.
2. Platonov P.N., Veremeenko E.I. O gazoraspredeleii po dline koroba shahtnoj zernosushilki // Izv. VUZov: Pishhevaia tehnologija. 1966. №6. S.73-76.
3. Andrianov N.M. Povyshenie intensivnosti i ravnomernosti uslovij sushki i ohlazhdenija zerna v shahtnyh sushilках // Mat. mezhdu. nauch.-tehn. seminar «Aktual'-nye problemy sushki i termovlazhnostnoj obrabotki materialov». Voronezh, 2010. S.296-302.
4. Andrianov N.M. Optimizacija struktury potokov gaza i teploty v shahtnyh zernosushilках // Hranenie i pererabotka zerna. 2010. № 1 (137). S.60-62.
5. Andrianov N.M. Ustrojstvo raspredelenija gaza v shahtnoj zernosushilke / Patent RF № 2269079. 2006. Bjul. №3.
6. Andrianov N.M. Ustrojstvo raspredelenija gaza v shahtnoj zernosushilke / Patent RF № 2359187. 2009. Bjul. №17.
7. Polozhitel'noe reshenie o vydache patenta na izobretenie po zjavke RF 2010154351 ot 27.01.2012. Ustrojstvo raspredelenija gaza v shahtnoj zernosushilke / N.M. Andrianov.
8. Andrianov N.M. Osobennosti gazoraspredeleija po dline korobov v shahtnoj zernosushilke // Tehnika v sel'skom hozjajstve. 2004. №5. S.20-22.
9. Andrianov N.M. Kak uluchshit' sushku zerna // Sel'skij mehanizator. 2008. № 9. S.17-20.
10. Andrianov N.M. Ustrojstvo raspredelenija gaza v shahtnoj zernosushilke // 100 luchshih izobretenij Rossii. Vyp.3: 2009. M.: INIC «PATENT», 2010. S.167-168.