

А.Н. Перепчаев, Е.Л. Жилич
*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь*

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕНОСНОЙ УСТАНОВКИ АКТИВНОГО ВЕНТИЛИРОВАНИЯ ЗЕРНА И ЗЕРНОВОГО ВОРОХА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ НА СКЛАДАХ АМБАРНОГО ТИПА И ПРИ ВРЕМЕННОМ ХРАНЕНИИ НА ПЛОЩАДКАХ

В статье проведен расчет технологических параметров оборудования для активного вентилирования зерна и семян.

Ключевые слова: зерно, семена, зерновой ворох, самосогревание, потери зерна, активное вентилирование, хранение.

A.N. Perepechaev, E.L. Zilich
*RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»
Minsk, Republic of Belarus*

REDUCTION OF LOSS OF GRAIN AND GRAIN PORROW DURING STORAGE IN AMBER BARS AND AT TEMPORARY STORAGE ON AREAS.

The article analyzes the causes of losses of grain and seeds during storage, and justified the need to create equipment to ensure active ventilation of grain and grain heaps during storage.

Keywords: grain, seeds, grain pile, self-heating, grain loss, active ventilation, storage.

Введение

Надежность и эффективность хранения сухих зерновых масс привела к широкому распространению (в процессе сушки зерна) различных методов для снижения влажности перед закладкой на хранение. Обычно влагу удаляют, применяя следующие способы сушки:

– тепловая сушка в зерносушилках различных конструкций, в которых в качестве агента сушки применяется смесь топочных газов с воздухом, имеющая высокую температуру – это наиболее эффективный и производительный способ сушки, однако дорогостоящий (на сушку 1 т сырого зерна расходуется около 10 л дизельного топлива);

– сушка активным вентилированием с использованием нагретого или сухого атмосферного воздуха с низкой относительной влажностью – эффективна технологически и экономически;

– воздушно-солнечная сушка с применением солнечной радиации; целесообразна для небольших партий семян, когда требуется снижение их влажности на 1–3 %, способствует послеуборочному дозреванию, кроме того, солнечные лучи губительно действуют на микроорганизмы – это самый дешевый способ сушки;

– химическая сушка с применением сорбентов (например, сульфата натрия), хорошо поглощающих влагу из семян бобовых культур, склонных к растрескиванию – ее применение ограничено.

Обязательным условием применения любого способа сушки является сохранение всех технологических качеств зерна, а в посевном материале – его жизнеспособности. Наряду с максимальным технологическим эффектом сушка должна быть организована наиболее экономично.

Основная часть

Обработка зерна воздухом основана на использовании скважистости зерновой массы, наличия многочисленных межзерновых пространств, соединенных друг с другом воздушными каналами разнообразного сечения и длины. Межзерновые пространства образуют в зерновой массе воздухопроводящую систему, по которой воздух или газы могут перемещаться по всему ее объему в

любом направлении. Поток воздуха оказывает воздействие на температуру и влажность зерна, изменяет газовый состав воздуха межзерновых пространств, т.е. воздействует именно на те факторы, от которых, в первую очередь, зависит уровень жизнедеятельности и сохранность зерновой массы. От скважистости зерна зависят сопротивление воздушному потоку, равномерность обработки, высота насыпи семян на установке и тип вентилятора. Так, сопротивление воздушному потоку при вентилировании семян льна, проса, клевера и других мелкосеменных культур в 3–5 раз больше, чем семян пшеницы.

Растет сопротивление воздушному потоку при увеличении высоты насыпи зерна и, особенно, при увеличении количества подаваемого воздуха. По данным Дж. Крейгера [1], при удельной подаче воздуха $100 \text{ м}^3 / (\text{т} \cdot \text{ч})$, сопротивление воздушному потоку при высоте насыпи зерна 1 м составляло 10 мм водяного столба, а $500 \text{ м}^3 - 65 \text{ мм}$. При насыпи 3 м соответственно 20 и 140 мм. Существенное влияние на сопротивление оказывает засоренность.

Увеличение сопротивления воздушному потоку повышает расход электроэнергии и денежные затраты на работу вентилятора. Низконапорные осевые вентиляторы не могут обеспечить хорошей обработки высоких насыпей зерна при большом расходе воздуха, но являются наиболее экономичными при вентилировании низких насыпей.

Центробежные вентиляторы могут создавать большое давление воздуха и используются при обработке таких масс зерна, когда надо преодолеть большое сопротивление. Обработка семян воздухом основана и на таких их физических свойствах, как теплоемкость и теплопроводность. Зная удельную теплоемкость зерна и воздуха, можно подсчитать количество воздуха, необходимого для охлаждения (подогрева), а также продолжительность обработки насыпи. Потребное количество воздуха ($v, \text{ м}^3$) при заданной разнице температур ($t_1 - t_2$).

В основе расчета удельного расхода воздуха и продолжительности вентилирования лежит уравнение теплового баланса, согласно которому количество отбираемой от зерновой массы теплоты ΔQ_3 равно дополнительному количеству теплоты ΔQ_6 , сообщаемой воздуху и выносимой им из зерновой насыпи, при понижении температуры зерна от начального значения t_3^H ($^{\circ}\text{C}$) до конечного t_3^K ($^{\circ}\text{C}$), при одновременном повышении температуры воздуха от начального значения t_6^H до конечного t_6^K , т. е.

$$\Delta Q_3 = \Delta Q_6, \quad (1)$$

или при дополнительных условиях: $t_3^H = t_6^K$, $t_3^K = t_6^H$ и $\Delta t = (t_3^H - t_3^K) = (t_6^K - t_6^H)$, соответственно:

$$M_3 c_3 \Delta t = V_6 \rho_6 c_6 \Delta t, \quad (2)$$

где M_3 и V_6 – масса зерна (кг) и объем воздуха (м^3) нагнетаемого в зерновую массу;

c_3 и c_6 – соответственно, удельная теплоемкость зерна (с достаточной точностью определяемая из формулы смешения) и воздуха, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$; при нормальных условиях (т.е. при температуре $T = 273,15 \text{ K}$ и барометрическом давлении $B = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па}$) $c_6 = 1,004 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$;

ρ_6 – плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$ (при нормальных условиях $\rho_6 = 1,293 \text{ кг}/\text{м}^3$).

Преобразовав последнее выражение относительно V_6 , получим:

$$V_6 = \frac{M_3 c_3 \Delta t}{\rho_6 c_6 \Delta t} = M_3 \frac{c_3}{\rho_6 c_6} = M_3 \frac{c_3}{c'}, \quad (3)$$

где c' – объемная теплоемкость воздуха, $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{K})$; при нормальных условиях $c' = c_6 \rho_6 = 1,004 \cdot 1,293 = 1,298 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{K})$.

Необходимый удельный расход воздуха V ($\text{м}^3/\text{т}$), нагнетаемого в зерновую насыпь на вентилирование с целью понижения температуры 1 т зерна до значения температуры воздуха, составит:

$$V = 1000 \frac{V_e}{M_3} = 1000 \frac{c_3}{c'}, \quad (4)$$

Проведём расчет необходимого количества воздуха для зерна пшеницы (как одной из основных сельскохозяйственной культуры республики, валовой сбор в 2018 году составил 61,2 тыс.т., что составляло порядка 41,5 % от всего валового сбора зерновых), при следующих параметрах:

- влажность $w=21$ %;
- параметры воздуха соответствуют нормальным условиям, $\rho_e = 1,293$ кг/м³;
- объемная теплоемкость воздуха $C' = 1,298$ кДж/(м³·К).

Удельная теплоемкость зерна C_3 , кДж/(кг·К), с учетом удельной теплоемкости сухого вещества зерна $C_{с.в.}$ и воды C_w , согласно формуле смешения, составляет:

$$c_3 = c_{с.в.} \frac{100-w}{100} + c_w \frac{w}{100} = 1,55 \frac{100-21}{100} + 4,19 \frac{21}{100} = 2,104. \quad (5)$$

Отсюда, необходимый расход воздуха для понижения температуры 1 т зерна до значения температуры воздуха, м³/т составит:

$$V = 1000 \frac{c_3}{c'} = 1000 \frac{2,104}{1,298} = 1621. \quad (6)$$

В реальных условиях производства, в силу неравномерного распределения полей скоростей охлаждающего воздуха, и соответствующего наличия в зерновой массе так называемых застойных зон, охлаждение отдельных участков зерновой насыпи протекает с неодинаковой скоростью. Поэтому для вентилирования всей насыпи, с учетом застойных зон, необходимый расход воздуха должен быть значительно больше теоретического, рассчитанного для идеальных условий. Исходя из этого условия, действующей инструкцией по активному вентилированию зерна, для всех используемых на предприятиях установок активного вентилирования, принята нормативная величина расхода воздуха $V = 2000$ м³/т.

С учетом этой нормативной величины и фактического удельного расхода воздуха в единицу времени l , м³/(ч·т), обеспечиваемого той или иной установкой, необходимая продолжительность вентилирования τ (ч) с целью охлаждения зерна, определяется из отношения:

$$\tau = 2000/l. \quad (7)$$

Величина фактического удельного расхода воздуха l является функцией следующих основных факторов: характеристик вентиляционной сети установки и вентилятора; толщины слоя, скважистости и соответствующего аэродинамического сопротивления зерновой насыпи.

Режимы вентилирования зерна различных культур в складах с целью снижения их температуры при использовании установок типа СВУ-1 и СВУ-2 приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. – Режимы вентилирования зерна различных культур в складах

Влажность зерна пшеницы, ржи, ячменя, овса, проса, гречихи, бобовых, %	Удельный расход воздуха, м ³ /(ч·т)		Высота насыпи, м			
			пшеницы, ржи, ячменя, овса, бобовых		проса, гречихи	
	Установки					
	СВУ-1	СВУ-2	СВУ-1	СВУ-2	СВУ-1	СВУ-2
≤16,0	40	35	2,7	3,7	2,3	2,7
>16,0...18,0	50	45	2,5	3,3	1,9	2,5
>18,0...20,0	80	70	1,6	2,9	-	2,0
>20,0...22,0	120	110	-	2,4	-	1,5
>22,0...24,0	210	165	-	1,7	-	-

Продолжительность вентилирования, напрямую зависящая от величины l , должна отвечать условию сохранения качества зерна. С учетом того, что зерно повышенной влажности и температуры

быстро самосогревается, то при вентилировании стремятся охладить его за максимально короткое время. Сокращения времени вентилирования добиваются увеличением удельного расхода воздуха за счет уменьшения толщины подвергаемого охлаждению слоя зерна. Для достижения большего технологического эффекта, охлаждение зерна рекомендуется проводить в ночное время, когда температура воздуха более низкая и нагрузка на электрическую сеть снижается вследствие сокращения объема других работ.

В условиях временного и длительного хранения зерновые массы и продукты его переработки подвергаются обработке, связанной с необходимостью продувания через них воздуха (или газа, например, инертного). Оказываемое при этом сопротивление слоя зерна (или продуктами его переработки) аэродинамическое сопротивление зависит от толщины слоя l (мм), плотности укладки продукта (скважистости) и скорости воздушного потока V (м/с). Для слоя зерна аэродинамическое сопротивление (Па) с достаточной для практических расчетов точностью можно определить из выражения:

$$P_{cl} = 9,81 \cdot A \cdot t_b \cdot v^n \quad (8)$$

где t_b – толщина слоя в мм, равная высоте насыпи;
 v – условная скорость воздуха, отнесенная к незаполненному сечению, м/с;
 A и n – коэффициенты, зависящие от физических свойств зерна.

$$P_{cl} = 9,81 \cdot 1,41 \cdot 3000 \cdot 0,5^{1,4} = 16 \text{ м}^2/\text{с}$$

Полученное полное сопротивление P пересчитывают для нормальных условий ($t_0 = 20$ °С, $\rho = 1,2$ кг/м³, $B = 101,3$ кПа), для которых даны характеристики вентиляторов:

$$P_{н.у.} = P \frac{293}{t_B + 273} \cdot \frac{101,3}{B_p} \quad (9)$$

где t_b – температура воздуха или газа перед входом в вентилятор, °С;
 B_p – барометрическое давление, кПа.
 Получаем 14,9 м²/с.
 Мощность электродвигателя вентилятора:

$$N_s = \frac{10^{-3} P_{н.у.} \cdot k \cdot V}{\eta \cdot \eta_n} \quad (10)$$

где V – производительность вентилятора м³/с;
 k – коэффициент запаса мощности на пусковой момент, принимаем $k=1,1$;
 η – КПД вентилятора, определяемый по его характеристике;
 η_n – КПД привода с учетом потерь в подшипниках, принимаем 0,98.
 Получаем:

$$N_s = \frac{10^{-3} \cdot 14,9 \cdot 1,1 \cdot 7,5}{0,89 \cdot 0,98} = 1,4 \text{ кВт} \quad (10)$$

Исходя из расчетной объемной подачи воздуха, в соответствии с рис. 1 и техническими характеристиками осевых вентиляторов производим подбор вентилятора.

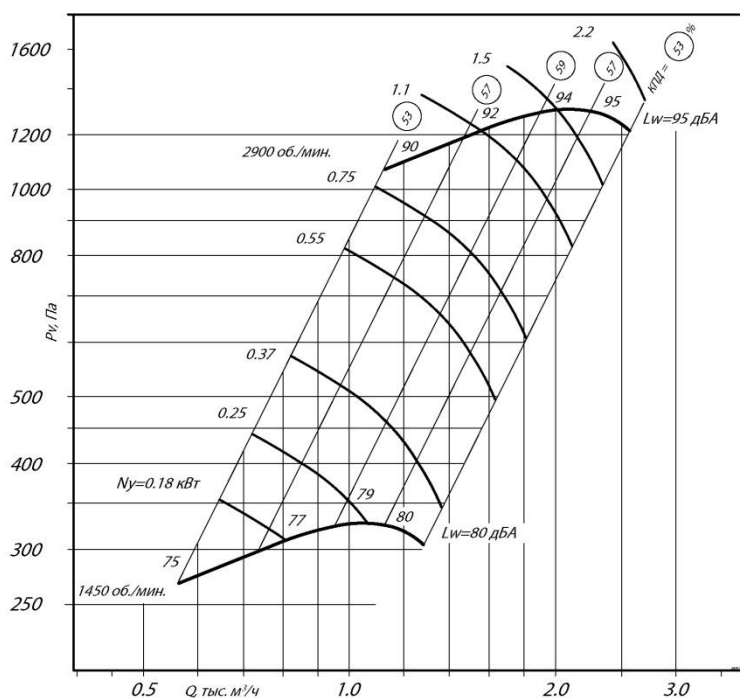


Рис. 1. Аэродинамические характеристики радиального вентилятора типа «Наездник»

Принимаем вентилятор марки ВР 280-46 №2Н со следующими техническими характеристиками:

- мощность привода от 1,5 до 2,5 кВт;
- объемная подача воздуха от 1150 до 1500 м³/ч;
- обороты двигателя 3000 мин⁻¹.
- давление в рабочей зоне, 1000–1300 Па.

Высоту насыпи зерна на складах устанавливают с учетом технического состояния зернохранилища, влажности, засоренности зерна, времени года. Высота насыпи для влажного зерна должна быть не более 2 м. При временном хранении сырого зерна, с влажностью в пределах ограничительных кондиций (см. табл. 1), высота насыпи не должна превышать 1,5 м. При кратковременном хранении зерна влажностью свыше 19 % высота насыпи должна быть не более 1 м. Максимальная высота насыпи допускается только для сухого проса 3 м. [2]

Исходя из этого, выбираем высоту пилонов, с учетом вентилятора 3,2 м.

Диаметр трубы выбираем исходя из необходимого объема воздуха в соответствии с [3]. При условии, что необходимо пропустить от 1300 м³/ч, принимаем диаметр трубы 300 мм.

Для проведения исследований по режимам сушки будем изготавливать два типа вентиляционных установок, расчетными параметрами и параметрами превышающие расчетные. Технические характеристики установки для активного вентилирования приведены в табл. 7.

Т а б л и ц а 2. – Технические характеристики установки для активного вентилирования

	Средняя игла	Большая игла
Общая длина, мм	3300	3300
Длина перфорированной детали, мм	1000	1500
Диаметр отверстия перфорированной части, мм (исходя из размера обрабатываемой культуры)	1,5	1,5
Объем воздуха, м ³ /ч	1150	2200
Мощность двигателя вентилятора, кВт	1,5	2,2
Полное давление в рабочей зоне, Па	1000-1300	

Режимы работы	Нагнетание-вытяжка
---------------	--------------------

Заключение

Активное вентилирование – один из важнейших технологических приёмов послеуборочной обработки и хранения зерновых масс и является наиболее эффективным и доступным средством удаления из зерновой массы образующегося тепла, предотвращения самосогревания, а также консервации зерна путем охлаждения и подсушивания. Консервация свежесобранного зерна активным вентилированием позволяет в 3–4 раза увеличить срок его безопасного хранения до сушки.

Использовавшиеся в советское время установки для активного вентилирования зерна и семян при хранении – практически все утрачены по различным причинам, а оставшиеся не используются из-за высокой энергоёмкости и неэффективности. В связи с этим возникла острая необходимость создания дешёвых мобильных устройств, которые позволят проводить вентилирование зерна как на площадках открытого типа, перед поступлением в сушилку, так и в складских помещениях для быстрого устранения очагов самосогревания и заражения.

В результате проведенных расчетов, а также основываясь на многолетнем использовании установок для активного вентилирования зерна и семян, обоснованы основные параметры установок. Диаметр отверстия перфорированной части – 1,5 мм, длина перфорированной детали – 1000–1500 мм, объемная подача воздуха – 1500–2200 м³/ч, мощность двигателя вентилятора – 1,5–2,2 кВт, полное давление в рабочей зоне – 1000–1300 Па.

Список использованных источников

1. Kreyger, J. Praktische grondslagen voor de bewaring van gemaaidorst graan / J. Kreyger – Jaarb Inst. Bewar. Vervverk. Landb. Prod. 1967, 1968, 73—94.
2. Яровенко, В.Л. Справочник по производству спирта. Сырье, технология и теххимконтроль / В.Л. Яровенко, Б.А. Устинников и др. // М. : Легкая пищевая промышленность. – 1981. –336с.
3. Расчет систем вентиляции [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.rfclimat.ru/htm/vent_ft.htm– Дата доступа 9.11.2019.