

# АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВОЗДУХА ПРИ ВЕНТИЛИРОВАНИИ ЗЕРНА В СИЛОСАХ ВМЕСТИМОСТЬЮ 1000, 2000, 5000 И 10000 ТОНН

*Кечкин И.А., аспирант, ассистент*

ВНИИЗ-филиал «ФНЦ пищевых систем им. В.М.Горбатова», г. Москва;  
Московский государственный университет технологий и управления им.  
К.Г.Разумовского (Первый казачий университет), г. Москва.

**Аннотация.** В результате проведенных исследований была разработана новая динамическая модель послойного охлаждения зерновой массы. Рассмотрены различные режимы вентилирования зерновой массы, при включении 1, 2, 3 и 4 вентиляторов.

Растущее с каждым годом производство зерна требует развитой сети для приема, обработки и хранения огромных масс товарного зерна.

Народнохозяйственное значение зерна в значительной степени определяется тем, что существенные объемы зерна, при соответствующих условиях, могут храниться в течение длительного времени без существенного изменения качества и товарной ценности.

На современном этапе технического развития предприятий послеуборочная обработка зерна играет решающую роль. Она позволяет гарантировать качество продовольственного зерна. Обеспечение сохранности зерна в нашей стране одна из важнейших задач, которая по масштабам и содержанию базируется на широкой научной основе. Для её успешного решения хлебоприёмные предприятия, наряду с очисткой, широко используют сушку и активное вентилирование зерна [1].

Ежегодно, на предприятиях переработки зерна, сушке и активному вентилированию подвергается до 70-90% всего убранного зерна [2]. В соответствии с практикой хранения зерновых культур, металлические вентилируемые силоса, заслуженно, можно считать наиболее рентабельными. Сроки строительства таких силосов в 2-3 раза короче, чем железобетонных силосов при меньших затратах, приблизительно на 15 %.

В последнее время, для увеличения ёмкостей хранения на территории Российской Федерации в основном строят металлические силоса вместимостью от 2 000 до 10 000 тонн зерна, оборудованные системами активного вентилирования. С помощью последних, можно успешно охлаждать зерновую массу в больших объемах, избегая самосогревания, применять меры по борьбе с вредителями зерна [3]. Активное вентилирование – это принудительное продувание массы зерна холодным или подогретым воздухом [4].

В отличие от естественной вентиляции, активное вентилирование позволяет создать и поддерживать оптимальные условия в больших объёмах зерна и благодаря этому снизить потери при хранении и более эффективно использовать объём хранилищ.

Режимы и приемы активного вентилирования зерна базируются на результатах научных исследований и многолетней практике хранения зерновых масс различных культур, как в России, так и за рубежом.

Этот способ обработки зерна позволяет предотвратить и ликвидировать самосогревание зерна, охладить зерновую массу до температуры, обеспечивающей длительное хранение. Вентилирование теплым воздухом с низкой относительной влажностью позволяет подсушить зерно и ускоряет процесс послеуборочного дозревания, улучшает хлебопекарные качества зерна [5]. Охлаждение и подсушивание зерна создают в насыпи условия, неблагоприятные для развития вредителей и микроорганизмов.

Норматив для определения объема нагнетаемого воздуха в зависимости от массы зерна не учитывает скорости воздуха. При вентилировании в одном и том же силосе разных масс зерна будут различные скорости воздуха [6]. В случае превышения относительной влажности воздуха в силосе, по сравнению с относительной влажностью наружного воздуха, рекомендуется обеспечить вентилирование пространства над зерном [7].

В таблице 1 представлены результаты аэродинамических измерений воздуха, нагнетаемого для активного вентилирования зерна в силосе вместимостью 2000 тонн, заполненного пшеницей на 75% объема.

Таблица 1

Аэродинамические параметры воздуха, нагнетаемого в силос

Расход воздуха, нагнетаемый вентилятором Q, м <sup>3</sup> /ч	Перепад давления в слое толщиной 2950 мм, ΔP, Па	Расход воздуха в слое зерна Q <sub>з</sub> , м <sup>3</sup> /ч	Утечки воздуха ΔQ		Удельные подачи воздуха, q, м <sup>3</sup> /ч*т	
			м <sup>3</sup> /ч	% от Q	в силос	в зерновой слой
14400	270	13040	1360	9,7	9,6	8,7
11700	220	11300	400	3,4	7,8	7,5
9720	160	9050	670	6,9	6,5	6,0
9360	140	8300	1060	10,3	6,2	5,5

Из данных таблицы 1 следует, что утечки воздуха из силоса составляют около 10% от объема воздуха, нагнетаемого вентилятором. Удельная подача воздуха в зерновую массу на 1 тонну не превышает 8,7 м<sup>3</sup>/т в час, что меньше норматива 10 м<sup>3</sup>/ч на тонну. Для обеспечения нормативного объема воздуха требуется подать в зерновую массу 15000 м<sup>3</sup>/ч\*т, при которых перепад давления в слое толщиной 2950 мм должен составить 350 Па. Такое значение перепада установилось при уменьшении массы зерна в силосе до 1400 тонн или 70% вместимости силоса. В этом состоянии была обеспечена нормативная подача воздуха в силос 10,7 м<sup>3</sup>/ч\*т. Мощность двигателя составила 8,5 кВт.

Удельные затраты электроэнергии составили,

$$\Delta g = 8500 / 1400 = 6,07 \text{ Вт/т.}$$

На следующем рисунке 1 представлена типичная картина изменения температуры зерна в силосе при влиянии активного вентилирования.

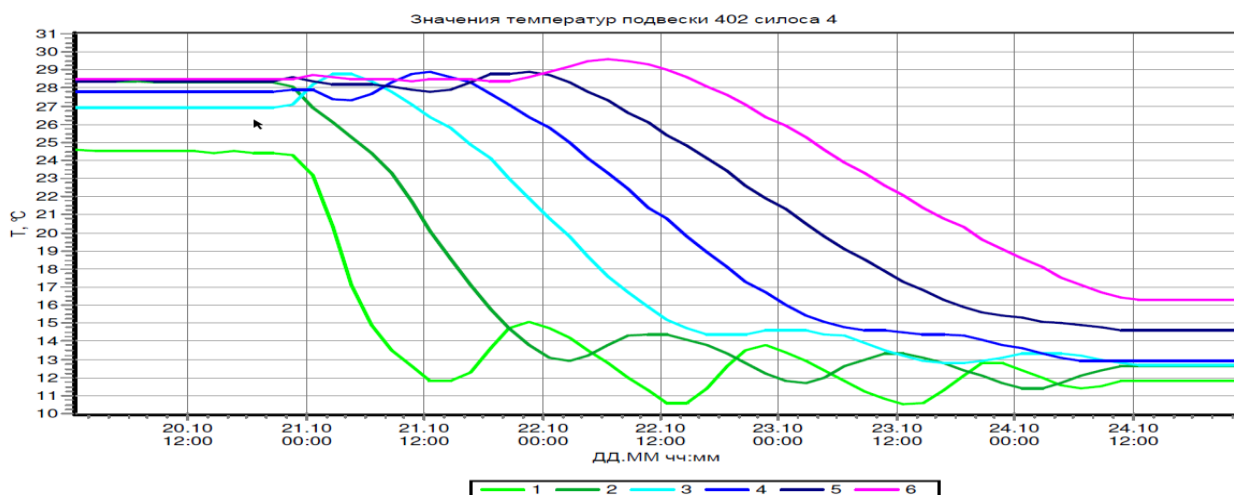


Рисунок 1. Изменение температуры зерна по слоям в силосе №4, вместимостью 1000 тонн, при активном вентилировании. (Нумерация датчиков температуры в термоподвесках – снизу-вверх)

В отличие от лабораторных исследований, в реальном силосе наблюдается повышение температуры в верхних слоях в начале вентилирования, линии 3,4,5,6. Происходит вынос дополнительного тепла из зон зерновой массы с не обнаруженным в статике перегретым зерном. Это подтверждает, что вентилирование выравнивает температурное поле по слоям, и предупреждает развитие возможных очагов самосогревания зерна, находящихся за пределами контроля термометрии. С учетом вышеизложенного обстоятельства предложены минимальные предельно-допустимые сроки хранения зерна при его температуре свыше 20 °С.

Разработана новая динамическая модель послойного охлаждения зерновой массы, приведенная на рисунке 2, где P - оператор Лапласа.

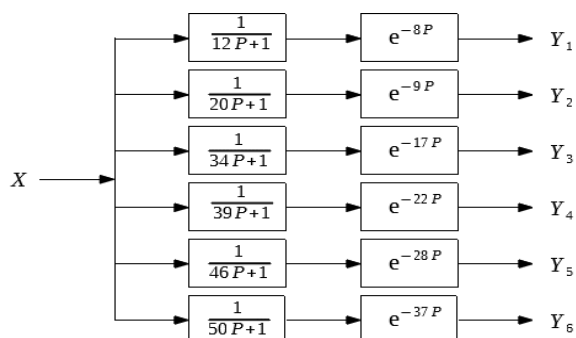


Рисунок 2. Динамическая модель послойного охлаждения зерновой массы

Значения скоростей охлаждения зерна, полученные расчетом и экспериментально в лабораторных и производственных условиях, приблизительно равны и составляют около 0,17°С/ч. Однако распространить эту модель повсеместно не представляется возможным, так как полученные численные значения

коэффициентов носят ориентировочный характер и требуют уточнения по большим массивам экспериментальных данных.

Данные замеров перепада давления воздуха в слоях зерна толщиной 2 м и 3 м в силосе вместимостью 10000 т представлены в следующих ниже таблицах. Слой зерна имел толщину 3 м при измерениях перепадов давления между уровнями I-III и имел толщину 2 м при измерениях перепадов между уровнями II-III.

Таблица А

При работе 4-х вентиляторов

Уровень	III - 1	III - 2	III - 3	III - 4	Среднее значение
I - 1	140	200	140	200	180
II - 1	100	180	100	175	139
I - 3	140	200	140	195	169
II - 3	80	140	80	140	110

Таблица Б

При работе 3-х вентиляторов. (Отключен вентилятор №3)

Уровень	III - 1	III - 2	III - 3	III - 4	Среднее значение
I - 1	50	40	-50	70	—
II - 1	50	35	-60	70	—
I - 3	210	200	140	210	—
II - 3	160	150	80	150	—

Таблица В

При работе 2-х вентиляторов. (Отключены вентиляторы №3 и №1)

Уровень	III - 1	III - 2	III - 3	III - 4	Среднее значение
I - 1	50	90	50	90	76
II - 1	40	75	40	75	58
I - 3	50	85	50	90	69
II - 3	20	50	20	50	35

При работе четырех вентиляторов (табл. А) среднее значение перепада давления в слое толщиной 2000 мм равно 125 Па, в слое толщиной 3000 мм – 175 Па. Расход воздуха в слое зерна, вычисленный по перепаду давления, при коэффициентах  $A=0,22$  и  $n=1,1$  составил: 85700 м<sup>3</sup>/ч при перепаде 125 Па и 85500 м<sup>3</sup>/ч при перепаде 175 Па. Скорость фильтрации воздуха в силосе соответственно составила: 3,79 см/с и 3,78 см/с, практически одинаковая в обоих вариантах.

Измеренное значение расхода воздуха, нагнетаемого в силос каждым из вентиляторов, составило: 6,42 м<sup>3</sup>/с или 23100 м<sup>3</sup>/ч вентилятором №1; 5,78 м<sup>3</sup>/с или 20700 м<sup>3</sup>/ч вентилятором №2; 5,64 м<sup>3</sup>/с или 20300 м<sup>3</sup>/ч вентилятором №3; 5,95 м<sup>3</sup>/с или 21400 м<sup>3</sup>/ч вентилятором №4. Суммарный расход воздуха составил 23,79 м<sup>3</sup>/с или 85600 м<sup>3</sup>/ч. Скорость фильтрации воздуха в силосе состави-

ла 3,78 см/с или 0,038 м/с, которая равна скорости, вычисленной по формуле Рамзина (по перепаду давления).

В таблице 2, ниже приведены значения расходов воздуха, нагнетаемого в силос и проходящего через зерновой слой при включенных четырех и двух вентиляторах.

Таблица 2

Расходы воздуха в металлическом силосе вместимостью 10000 тонн

Расход воздуха, нагнетаемый вентилятором, Q м3/ч	Перепад давления в слое зерна толщиной, ΔP, Па		Расход воздуха через массу зерна, Q м3/ч, при замерах ΔP в		Утечка воздуха, ΔQ м3/ч	Удельная подача воздуха, q м3/ч
	2000 мм	3000 мм	2000 мм	3000 мм		
85600	125	175	85700	85500	0	11,4
36700	46	70	36600	36700	0	4,9

При включенных трех вентиляторах воздух в силосе распределялся неравномерно по сечению, имелись застойные зоны (см. таблицу Б) с отрицательными значениями перепадов давления. В дальнейшем этот режим не рассматривали. Полученные данные свидетельствуют о недопустимости вентилирования зерна при асимметричном нагнетании воздуха в силос.

Таблица 3

Сравнение силосов по удельным затратам электроэнергии на активное вентилирование зерна

№ п/п	Культура	Удельная подача воздуха, м3/ч·т	Скорость фильтрации, см/с	Утечка воздуха, %	Удельные затраты электроэнергии, Вт/т	Масса зерна	
						в % к вместимости	в тоннах
1	пшеница	8,7	2,9	9,6	–	75	1500
2	пшеница	10,7	3,4	8,0	6,07	70	1400
3	пшеница	11,8	3,1	нет	5,33	60	6000
4	соя	11,4	3,9	нет	4,27	75	7500

Позиции: 1–2 зерно в силосах изготовителя «RIELA» вместимостью 2000 т.; 3–4 в силосах изготовителя «GSCOR» вместимостью 10000 т.

Из представленных данных следует, что вентилирование зерна в силосах фирмы «GSCOR» эффективнее по энергозатратам, так как у данного изготовителя металлических силосов практически отсутствуют утечки воздуха, за счет этого выше удельная скорость подачи воздуха при более низких удельных затратах электроэнергии.

## Литература

1. Вентилирование зерна в зернохранилище [Электронный ресурс]. Режим доступа: - <http://agrotech35.ru/blog/index.php/15-ventilirovanie-zerna-v-zernokhranilishche.html> - (Дата обращения: 2016).

2. Активное вентилирование зерна на предприятиях элеваторной промышленности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://hleb-produkt.ru/zerno/555-aktivnoe-ventilirovanie-zerna-na-predpriyatiyah-elevatornoy-promyshlennosti.html> (Дата обращения: 2014).
3. Активное вентилирование в силосах элеваторов [Электронный ресурс]. Режим доступа: - <http://agro-portal24.ru/hranenie-zerna/3003-aktivnoe-ventilirovanie-v-silosah-elevatorov.html> - - (Дата обращения: 2012).
4. Кинетика охлаждения зерна после сушки на установках активного вентилирования, 22-23 сентября 2015 года, В.Ф. Сорочинский, С.-15.
5. Активное вентилирование зерновых масс [Электронный ресурс]. Режим доступа: - <http://chitalky.ru/?p=1436> - (Дата обращения: 2016).
6. Кечкин И.А. Сборник научных трудов XI Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук/ВНИХИ – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН. – М.: – ВНИХИ – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова», 2017. – С. 126.
7. Кечкин И.А., Разворотнев А.С., Гавриченко Ю.Д. Режимы хранения и вентилирования зерна пшеницы в металлических силосах большой вместимости // Хлебопродукты. - 2017. -№ 11.- С. 58.