

# ВЫБОР РЕЖИМА АКТИВНОГО ВЕНТИЛИРОВАНИЯ ЗЕРНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУХА В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИЛОСАХ БОЛЬШОЙ ВМЕСТИМОСТИ

*Кечкин И.А.*

«Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки» – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, Российская Федерация, г. Москва

**Аннотация.** В данной работе рассмотрены характерные режимы активного вентилирования зерна в металлических силосах большой вместимости в зависимости от скорости фильтрации.

**Ключевые слова.** Характерные режимы, активное вентилирование зерна, скорость фильтрации, металлические силоса.

## THE CHOICE OF MODE OF VENTILATION DEPENDING ON THE RATE OF FILTRATION IN METAL SILOS WITH LARGE CAPACITY

*Kechkin I.A.*

All-Russian Scientific Research Institute for Grain and Products of its Processing – branch of FSBSI «V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems» of RAS, Russian Federation, Moscow

**Abstract.** In this paper, different modes of grain ventilation in metal silos of high capacity depending on the filtration rate are considered.

**Keywords.** Modes of grain ventilation, filtration rate, metal silo.

Основным способом хранения в металлических емкостях, по инструкциям [1, 2] и правилам безопасности является хранение зерна в сухом и очищенном состоянии [3]. Известно, что на сроки хранения влияют не только влажность и чистота, но и температура зерна, закладываемого на хранение [4]. Чем меньше температура, тем продолжительнее сроки хранения. Требуемые состояния зерна по влажности и чистоте достигают в процессе послеуборочной обработки зерна (сушка, очистка и т. д.). Охлаждают зерно, как правило, в силосе с помощью установок активного вентилирования наружным воздухом, имеющим более низкую температуру по сравнению с зерном. Исследованиями Казахского филиала ВНИИЗ и Зернового Треста Венгерской Народной Республики установлено, что малые удельные подачи воздуха на тонну зерна способствуют развитию плесеней хранения и ухудшению качества зерна [5]. Предположительно при таких режимах недостаточно скорости воздушному потоку для выноса из зернохранилища дополнительной влаги, сорбированной воздухом из зерна. Эта

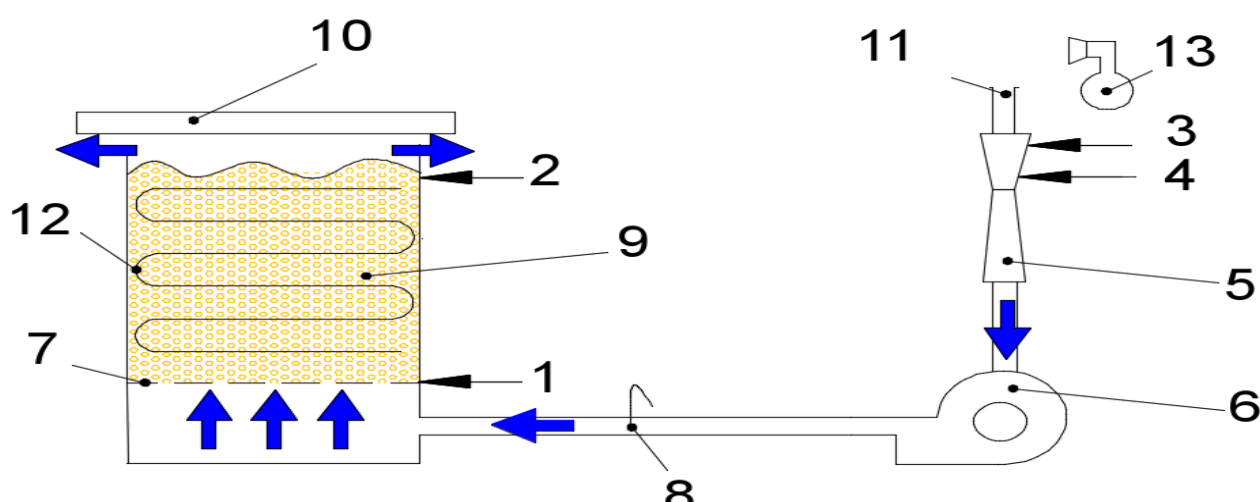
влага оседает в верхней части насыпи и способствует развитию негативных процессов при хранении, а также возникновению «корки».

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. Влияние скорости воздуха на процесс охлаждения зерна изучен в работе [6], но для зерна после сушки и для специальной охлаждающей колонки. Высота колонки не превышает 6 м. В исследованиях зерно имело следующие исходные параметры: влажность от 15 до 18,5 %; температуру от 37 до 55 °С. Скорость фильтрации воздуха изменяли от 4 до 22 см/с.

Температуру и относительную влажность измеряли одновременно при помощи самозаписывающих сертифицированных устройств с периодичностью записи 30 мин. Устройства имели следующие диапазоны измерений параметров воздуха: температуры от -40 до +70 °С с погрешностью 20 °С, относительной влажности от 10 до 95 % с погрешностью 5 % [7].

Для заданных значений скоростей фильтрации воздуха необходимо установить режимы активного вентилирования, обеспечивающие их. Изменяя скорость вращения лопастей вентиляторов можно регулировать объемы нагнетаемого воздуха в металлические силоса большой вместимости, тем самым устанавливая оптимальную скорость фильтрации воздуха.

Для изучения других диапазонов влажности: от 11 до 15 %, скорости фильтрации и температурных режимов была использована экспериментальная установка (рисунок 1), позволяющая изучить процесс охлаждения зерна при помощи активного вентилирования в заданных температурных и влажностных диапазонах при различных скоростях фильтрации воздуха.



- 1, 2 – нижний и верхний штуцер на установке; 3, 4 – верхний и нижний штуцер на трубе Вентури; 5 – труба Вентури; 6 – нагнетающий воздушный вентилятор;  
7 – воздухораспределительная решетка; 8 – винтовая заслонка; 9 – зерновая масса;  
10 – крышка стенда; 11 – воздухозаборник; 12 – нагревательный кабель;  
13 – увлажнитель

Рисунок 1. Схема экспериментальной установки

Для эксперимента использовалось зерно влажностью 14 % и температурой 17 °С. При помощи нагревательного кабеля зерно в стендовой установке было нагрето до температуры 30 °С, влажность зерна в конце эксперимента составила 13,5 %. Влажность зерновой массы определялась при помощи размещенных на разных уровнях друг под другом на расстоянии 20 см тестеров (мешочков с зерном), которые при окончании нагрева зерновой массы были извлечены для определения влажности. Во всех пяти тестерах влажность зерна составила от 13,3 до 13,6 %, что говорит об однородности зерновой массы, так как данное отклонение лежит в погрешности способа измерения влажности зерна согласно ГОСТ [8].

Разброс температуры по слоям составил не более 1 °С, что также говорит об однородности зерновой массы по температуре. Данные были получены при помощи сертифицированных, серийно выпускаемых автономных регистраторов данных, имеющие следующие габариты: 100×25×23 миллиметра. Эти регистраторы одновременно измеряют и записывают температуру и относительную влажность воздуха в месте своего расположения. Периодичность записи регулируется от 2 секунд до 24 часов, в наших исследованиях запись параметров воздуха производили через 10 минут, или в течение суток 144 измерения. Погрешность измерения температуры в пределах от -40 °С до 70 °С составляет 2 °С, погрешность измерения относительной влажности воздуха в пределах от 10 % до 95 % составляет 5 %. Автономные регистраторы с 1 по 6 устанавливались в зерновую массу друг под другом по вертикали на расстоянии 25 см, согласно рисунку 2. ТВ2 и ТВ6 записывали параметры с пограничных областей: в местах соприкосновения зерновой массы и металлической решетки, в месте контакта зерновой массы с воздухом соответственно. Все приборы были установлены на удалении 25 см друг от друга по вертикали и находились строго друг под другом. ТВ1 вел запись входных параметров относительной влажности и температуры забираемого воздуха с улицы.

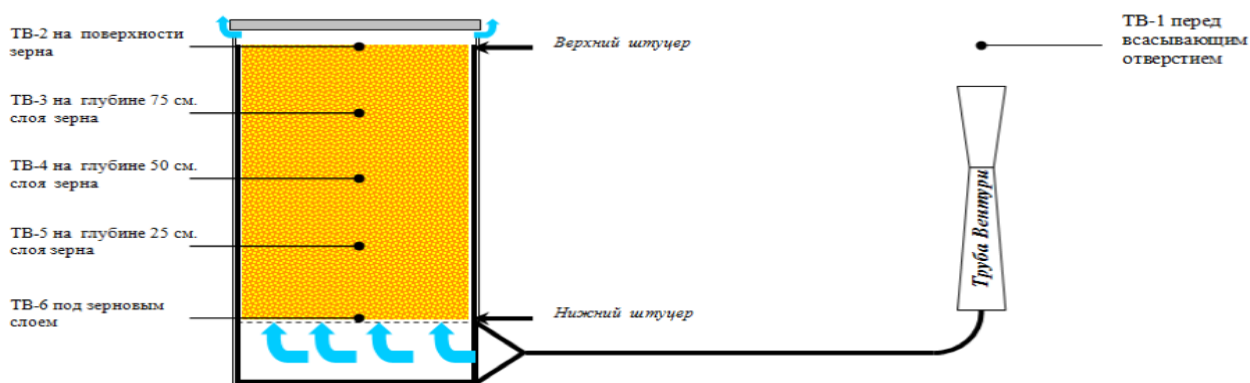


Рисунок 2. Схема расположения автономных регистраторов в зерновой массе и на воздухозаборнике

Зерно, нагретое до 30 °С и влажностью 13,5 % стали остужать при помощи воздуха, используя различные режимы работы вентиляторов, подающих

воздух в зерновую массу, а также при помощи изменения положения дроссельной заслонки. Данный способ позволил определить 3 характерных режима активного вентилирования в зависимости от скорости фильтрации.

Для первого режима активного вентилирования характерна скорость фильтрации, находящаяся в диапазоне от 6 до 12 см/с. Данные значения удается получить при помощи регулирования дроссельной заслонки, позволяющей менять расход воздуха с 50 до 150 м<sup>3</sup>/час, скорость фильтрации при этом составляет от 6 до 12 см/с, с учетом сопротивления зернового слоя. При такой высокой скорости фильтрации наблюдается вынос влаги из зерна и как следствие влажность зерна в конце эксперимента уменьшилась на 2 % и составила 11 % (рисунок 3). Потеря влажности составила более 2 % за 4 часа применения активного вентилирования в режиме высокого расхода воздуха. При первом режиме необходимо обеспечить беспрепятственное воздухоотведение из верхней части установки, так как в противном случае выносимая влага будет конденсироваться на верхней крышке и стенках, что, в конечном счете, приведет к увлажнению верхних слоев зерновой массы и образованию «корки» на них. Кроме охлаждения, данный режим можно использовать и для подсушивания зерна, но для этого необходимо учесть в конструкции металлического силоса правильное воздухоотведение верхней части силоса. Для первого режима характерно большое потребление электрической энергии.



Рисунок 3. Выброс влаги из зерновой массы

Для второго режима активного вентилирования характерна скорость фильтрации воздуха, проходящего через зерновую массу со скоростью от 2,5 до 5 см/с.

В случае превышения относительной влажности воздуха в силосе, по сравнению с относительной влажностью наружного воздуха, рекомендуется обеспечить вентилирование пространства над зерном [10]. Данные рекомендации полностью относятся и к стендовой установке, на которой рассматривались различные режимы активного вентилирования, для скоростей фильтрации находящихся в диапазоне от 0 до 12 см/с.

При расходе воздуха 42 м<sup>3</sup>/час и скорости фильтрации 3,5 см/с (рисунок 3) происходит эффективное охлаждение зерна, лишняя влага не остается на стенках и крышке хранилища, что не приводит к увлажнению поверхностного

слоя зерна, воздух удаляется через воздухоотводные каналы. Стоит отметить, что данный режим является оптимальным, так как при нем минимальны электрические затраты на активное вентилирование, а охлаждение и хранение зерна соответствует необходимым нормативам инструкции по хранению зерна, масло семян, муки и крупы.

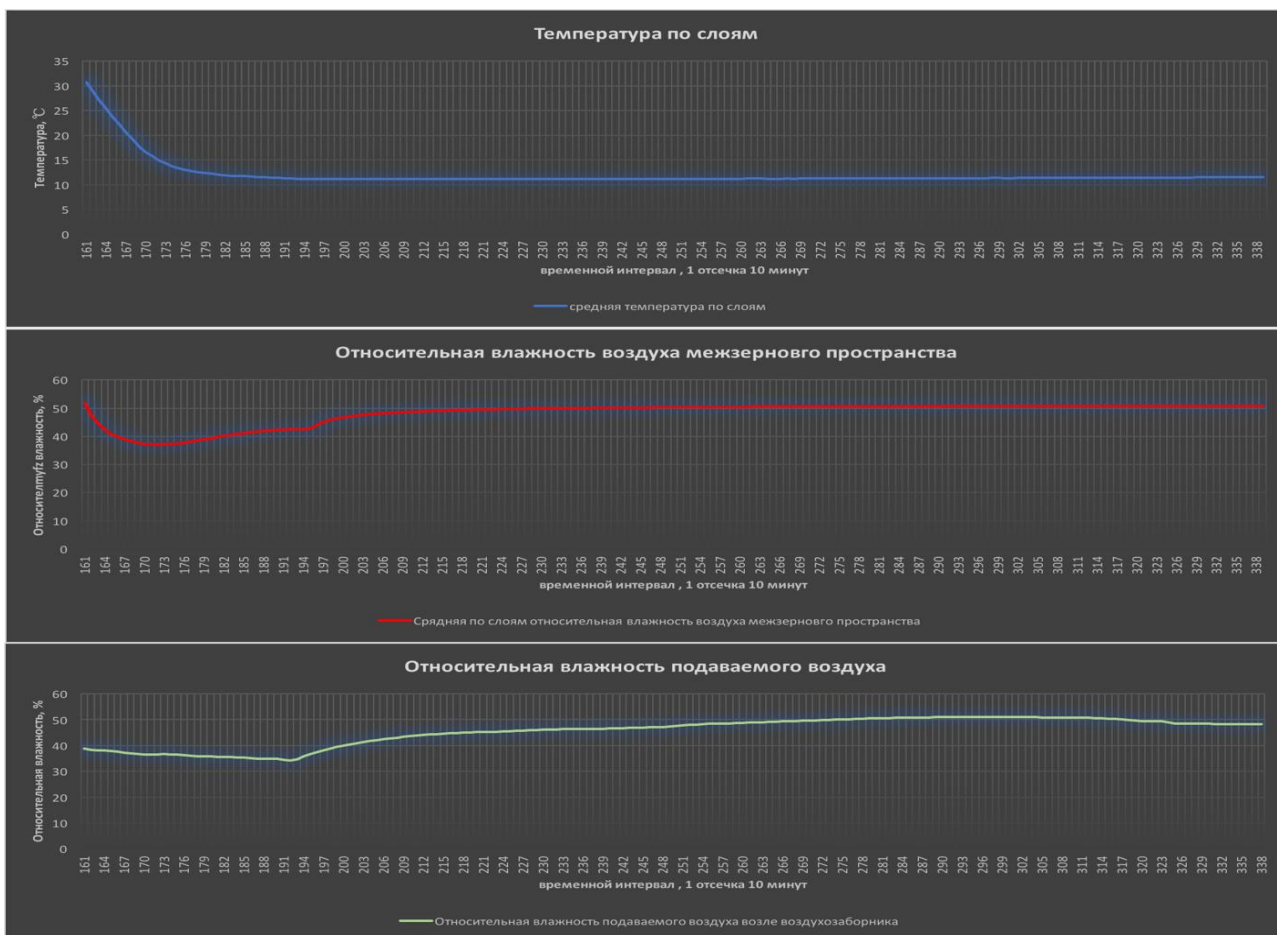


Рисунок 4. Обобщенные данные температуры и относительной влажности воздуха в зерновой массе по слоям при скорости фильтрации 3,5 см/с

Для третьего режима активного вентилирования характерны скорости фильтрации менее 2,5 см/с. При нем происходит увлажнение верхних слоев зерновой массы. За счет движения воздушных масс снизу-вверх при активном вентилировании переносимая влага от нижних слоев к верхним поднимается над зерном, но выталкивающей силы не хватает для её выведения через воздухоотводные каналы. Вследствие чего происходит её конденсирование на верхней крышке и боковых стенках, и последующее увлажнение верхних слоёв зерновой массы.

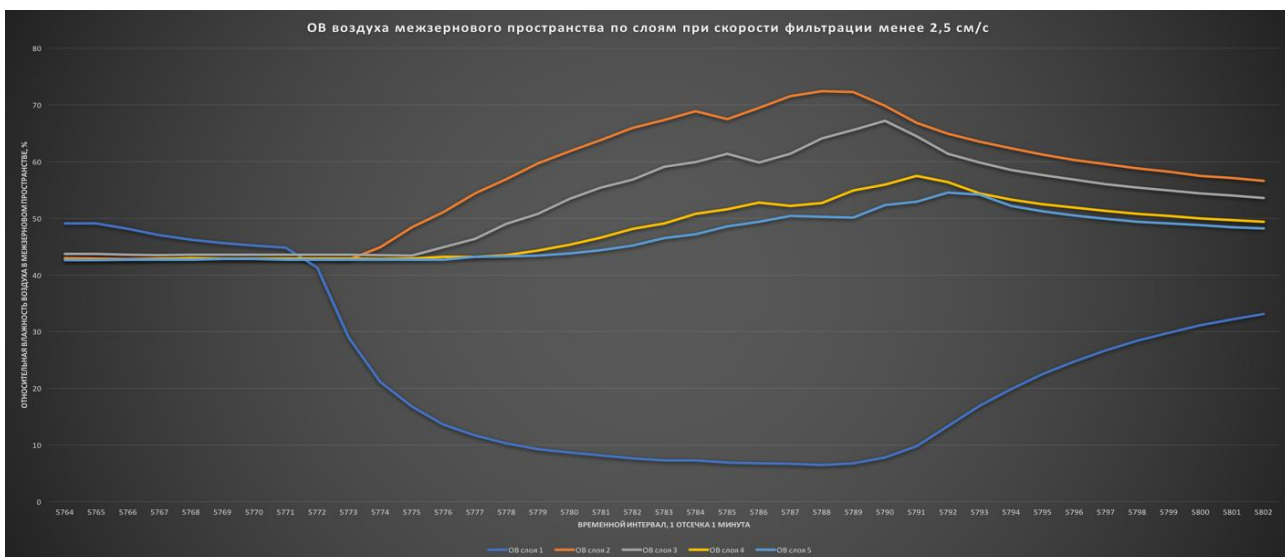


Рисунок 5. Относительная влажность воздуха межзернового пространства при скорости фильтрации менее 2,5 см/с

Как видно из рисунка 5, начальная относительная влажность воздуха межзернового пространства составляла 42 %, после включения системы активного вентилирования воздуха при скорости фильтрации менее 2,5 см/с относительная влажность воздуха в верхних слоях увеличилась до 58 %, а влажность зерна возросла с 13,5 % до 14,3 %. Стоит отметить, что в нижних слоях зерновой массы относительная влажность воздуха межзернового пространства и влажность зерна уменьшилась с 42 % до 32 % и с 13,5 % до 13 % соответственно. Анализируя полученные данные можно прийти к выводу, что при скорости фильтрации менее 2,5 см/с необходимо принимать меры для её увеличения. Сделать это можно уменьшив сопротивление зернового слоя, улучшив систему воздухораспределения, модернизировав решетку или установив дополнительную систему воздухоотведения в верхней части силоса.

## Литература

1. Ковалев Ю.П. Временная инструкция по хранению зерна в металлических зернохранилищах. ЦНИИТЭИ Минзага СССР. М., 1979. С. 46.
2. Инструкция № 9-7-88 «По хранению зерна, маслосемян, муки и крупы», Приказ Минхлебопродуктов СССР от 24 июня 1988. № 185. С. 32.
3. Алешин А.В. Изменения в ПБ 14-586-03 утвержденные приказом №457 от 15.11.16. С. 15.
4. Разворотнев А.С. Отчет ВНИИЗ по заданию 0586-2014-0009 «Разработать критерии применимости типов металлических силосов для хранения зерна колосовых культур с целью обеспечения сохранности качества зерна и повышения рентабельности предприятий для климатических условий Юга России». М., 2016. С. 34.
5. Отчет ВНИИЗ по работе 4.11. «Временная инструкция по хранению зерна в Металлических зернохранилищах». М., 1980. С. 45.

6. Сорочинский В.Ф. Кинетика охлаждения зерна после сушки на установках активного вентилирования, 22-23 сентября 2015. С. 8.
7. Кечкин И.А. Изменение параметров воздуха внутри металлического силоса при хранении пшеницы // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции: сб. материалов II Международной науч.-практ. конф. Краснодар, 2017. С. 449.
8. ГОСТ 13586.5-93 Зерно. Метод определения влажности. М., 1993. С. 13.
9. Докипедия [электронный ресурс]. Приказ Минхлебопродукта СССР от 24 июня 1988 г. N 185 «Об утверждении инструкции по хранению зерна, масло семян, муки и крупы» ([Докипедия: Приказ Минхлебопродукта СССР от 24 июня 1988 г. N 185 «Об утверждении инструкции по хранению зерна, масло семян, муки и крупы»](http://dokipedia.ru/document/5294101)) Режим доступа: <http://dokipedia.ru/document/5294101> (Дата обращения: 15.08.2018).
10. 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.