

DOI 10.25741/2413-287X-2019-09-2-082

УДК 633.1;631.24

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА В НАРУЖНЫХ СИЛОСАХ ЭЛЕВАТОРОВ

В. ЛООЗЕ, С. БЕЛЕЦКИЙ, канд. техн. наук, ФГБУ НИИПХ Росрезерва

E-mail: grain-miller@yandex.ru

В данной статье в краткой форме представлен анализ зависимости параметров температуры и относительной влажности межзернового пространства пристенных слоев зерна (до одного метра) в наружных сilosах элеваторов от внешних климатических условий — температуры и относительной влажности наружного воздуха в течение годового цикла. Определена толщина пристенного слоя зерновой массы, наиболее подверженного нежелательным температурным и влажностным воздействиям.

Ключевые слова: термоподвеска, температура, термогигрометр, относительная влажность, зерно, наружный силос, элеватор, железобетон, теплообмен, теплопередача, хранение, конденсат, точка росы.

При долговременном хранении зерна на элеваторе в связи с изменением температуры наружного воздуха меняется и температура зерна, находящегося в сiloсе. В условиях Российской Федерации оптимальный температурный диапазон длительного хранения товарного зерна пшеницы составляет от -10°C до 10°C , а допустимым можно считать диапазон от -15°C до 15°C . При такой температуре в мировой практике осуществляется длительное хранение большинства зерновых, включая злаковые культуры.

В литературных источниках мало данных по исследованию динамики изменения внутренних температур в железобетонных сilosах. Согласно некоторым из них [1–3], миграция температурного фронта вглубь зерновой массы протекает достаточно медленно — примерно 10 см в месяц. Например, при постоянной внешней отрицательной температуре -30°C пристенный слой зерна толщиной 10–20 см, расположенный в сiloсе элеватора из сборного железобетона, охладится на $10-15^{\circ}\text{C}$ не менее чем за 6 месяцев. При этом температура зерна на расстоянии 1 м от внешней стены наружного сiloса опустится всего на $3-5^{\circ}\text{C}$. Значительно быстрее это происходит в металлических сilosах — примерно 10 см в день, а толщина пристенного слоя внешней стены, реагирующего на изменения температуры, не превышает 15–20 см [4].

A brief analysis of the effects of annual dynamics of outdoor air temperature and relative humidity (RH) on the temperature and RH in the intergrain space of the grain layers adjacent to the walls of the external silos of elevators (up to 1 m in width) is presented. The width of the wall-adjacent grain layer strongly susceptible to the exposure to undesirable temperature and RH conditions is determined.

Keywords: multipoint temperature transmitter, temperature, thermal hygrometer, relative humidity, grain, external silo, elevator, armored concrete, heat exchange, heat transfer, storage, condensate, dew point.

На наш взгляд, внешняя температура оказывает большее влияние на хранящееся в элеваторе зерно и критичный к прогреванию/охлаждению пристенный слой зерна значительнее, указанного в данных литературных источниках.

В связи с этим нами была разработана «Программа экспериментальных исследований температуры зерна пшеницы в наружных сilosах элеватора из сборного железобетона», направленная на изучение динамики миграции температурного фронта вглубь зерновой массы на трех уровнях и выявления критичного пристенного слоя зерна, который подвержен наибольшему нагреванию/охлаждению.

Измерения температуры зерна у наружной стены сiloса проводились с использованием автономных датчиков логгеров-термогигрометров, расположенных в толще зерновой массы. Для контроля значений горизонтального распределения температуры и относительной влажности воздуха была создана измерительная система, состоящая из 25 термогигрометров типа



Рис. 1. Термогигрометр DS1923-F5 измерительного комплекса iBDL



Рис. 2. Система регистраторов, закрепленных на трех горизонтальных подвесках

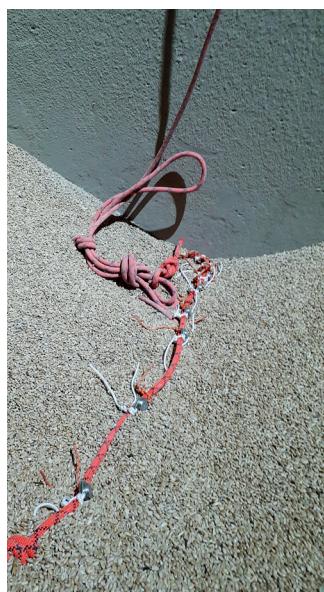


Рис. 3. Расположение термогигрометров на канате внутри сilosа

DS1923-F5 измерительного комплекса iBDL производства ООО «Инженерные технологии» (г. Челябинск).

Термогигрометры — это логгеры данных, обладающие низким энергопотреблением, что позволило запрограммировать их на проведение двух измерений в сутки в течение четырех лет непрерывно. Автономный логгер-термогигрометр DS1923-F5, герметично размещенный в дисковом корпусе, представляет собой высокоеconomичный двухканальный микроконтроллер, имеющий в своем составе полупроводниковый датчик температуры, датчик относительной влажности воздуха, литиевую батарею и память объемом до 8192 измерений. Корпус выполнен из пищевой нержавеющей стали, инертной в отношении агрессивных сред и с высокой стойкостью к негативным воздействиям окружающей среды, таким как пыль, влага, вибрация, удары. Диапазон регистрируемых параметров DS1923-F5: температуры — от -40°C до 85°C , относитель-



Рис. 4. Термогигрометр DS1923-F5, установленный в наружной климатической будке

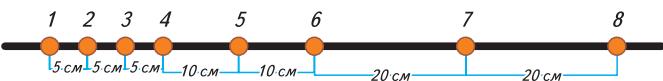


Рис. 5. Схема крепления регистраторов на горизонтальной подвеске

ной влажности — от 0% до 100%RH.

Автономные датчики (регистраторы) вставлены в металлические крепежные элементы и объединены между собой по горизонтали в единую сеть полимерным канатом (рис. 1). Для объединения горизонтальных связок между собой используется вертикальный трос. Алгоритм закладки датчиков следующий: дно пустого наружного сilosа заполняется зерном на высоту 1 м от основания выпускной воронки, на поверхности зерновой массы размещают 8 автономных датчиков, скрепленных между собой тросом на заданном расстоянии друг от друга (рис. 2 и 3). Аналогичные операции проводятся на насыпях зерна на высоте 15 и 30 м.

Канаты с логгерами размещают у внутренней поверхности наружного сilosа элеватора. Для измерения параметров наружного климата в специальной будке снаружи сilosа установлен датчик (рис. 4). Регистраторы были расположены согласно схеме, утвержденной «Программой экспериментальных исследований температуры зерна пшеницы в наружных сilosах элеватора из сборного железобетона» (рис. 5 и 6).

Датчики на всех трех уровнях располагают напротив измерительных элементов термоподвесок. Для выполнения работ внутри сilosа применяют лебедку с тросом, прошедшим поверху. Дополнительно примерно в центре сilosа, на расстоянии 1,5 м от стены, была установлена термоподвеска. Используя полученные данные способом интерполяции, можно рассчитать температуру на определенном расстоянии между датчиками.

Мониторинг температурно-влажностных параметров проводился у *внешней южной стены наружного сilosа элеватора* в течение одного года. По завершении исследований сilos был освобожден от зерна, автономные датчики извлечены, проведено считывание, обработка, архивирование и анализ записанной информации.

Таким образом, впервые в практике длительного хранения зерна удалось получить данные годового цикла

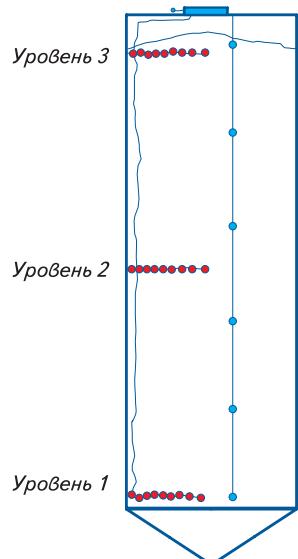


Рис. 6. Схема закладки регистраторов в наружный сilos

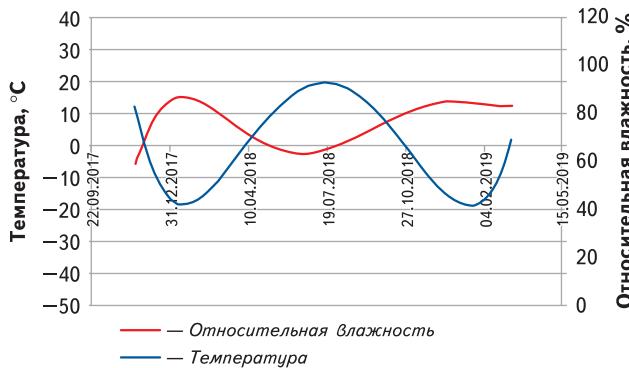


Рис. 7. Графики наружной температуры и относительной влажности

изменения температуры зерна (на трех уровнях) и относительной влажности воздуха в межзерновом пространстве (на двух уровнях) в пристенном слое наружного силоса на участке от наружной стены сага до середины силоса в элеваторе из сборного железобетона с учетом температуры и относительной влажности наружного воздуха (рис. 7–13).

Данные, полученные с термогигрометров, показали:

- наиболее критичный к прогреванию/охлаждению пристенный слой зерновой массы на всех трех исследуемых уровнях с южной стороны силосного корпуса оказался равным 50 см, что достаточно много, так как раньше



Рис. 8. В пристенном слое

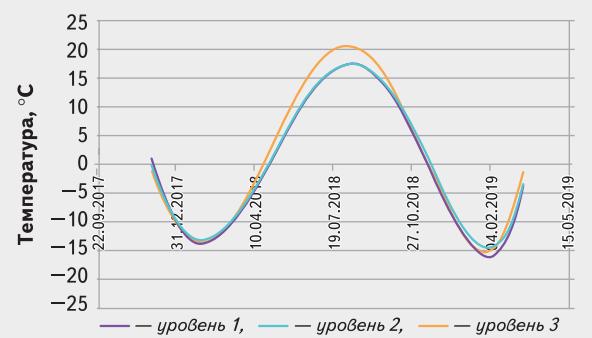


Рис. 9. На расстоянии 55 см от наружной стены

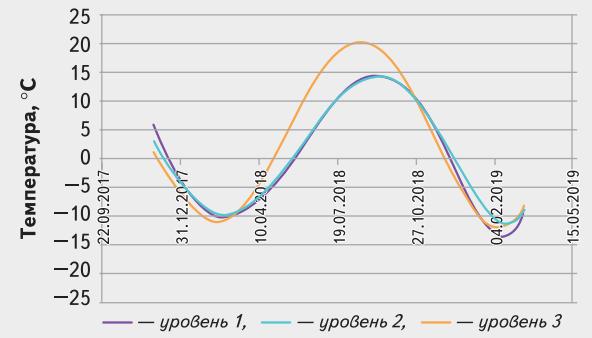


Рис. 10. На расстоянии 75 см от наружной стены

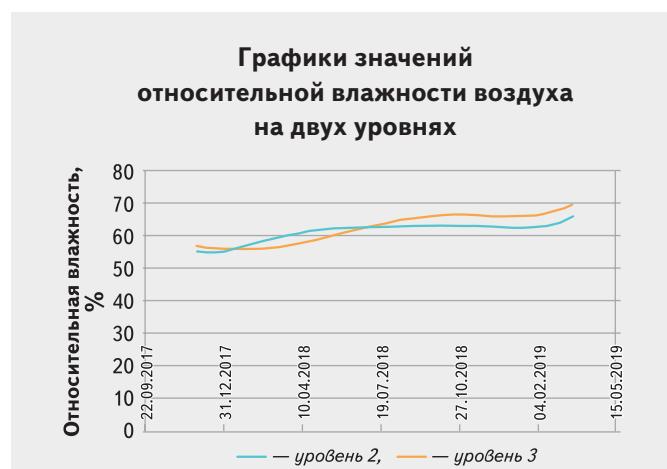


Рис. 11. В пристенном слое зерна

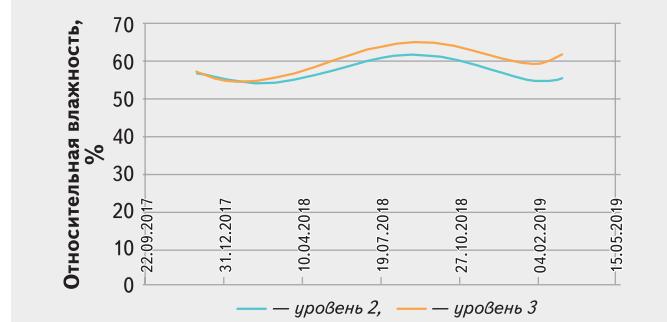


Рис. 12. На расстоянии 55 см от наружной стены

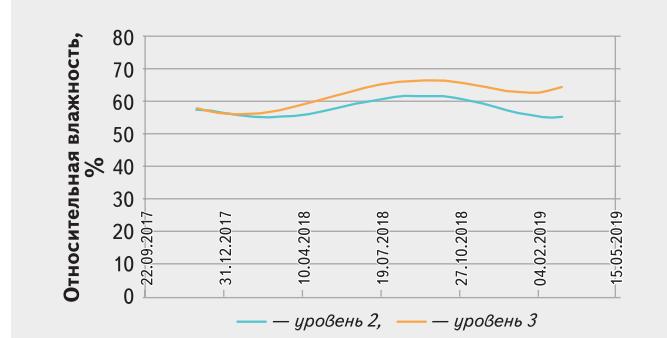


Рис. 13. На расстоянии 75 см от наружной стены

в этих условиях критичным считался слой толщиной 10–20 см;

- данные по относительной влажности воздуха в межзерновом пространстве в пристенном слое южной стороны свидетельствуют о сохранении этого показателя на допустимом уровне (не более 70%) в течение годового цикла, включая данные, полученные непосредственно у внутренней поверхности солга. Тем не менее, в верхнем исследуемом слое у внутренней поверхности стены отмечалось наибольшее допустимое значение. Это говорит о том, что конденсат на внутренней поверхности не образуется, но есть некоторая предрасположенность к появлению конденсата внутри силоса в верхней его части, не заполненной зерном;
- зерно пшеницы не подвержено нежелательному температурному воздействию на расстоянии более 50 см от стены, а начиная с 1 м от стены температурные колебания зерновой массы незначительны в течение всего годового цикла.

В настоящее время проводится второй этап исследования, заключающийся в мониторинге тех же параметров

(температуры зерна и относительной влажности воздуха в межзерновом пространстве), у *внешней северной стены наружного силоса элеватора*.

Литература

1. Сологубик, А. А. Изменение температуры зерна, хранящегося в силосах из сборных железобетонных конструкций и монолитного железобетона / А. А. Сологубик, Ж. А. Камаева, Н. И. Фомин // Труды ВНИИЗ. — 1981. — № 95. — С. 31–39.
2. Исследование условий хранения зерна в наружных силосах элеваторов из сборных железобетонных конструкций / И. П. Анастасиади [и др.] // Труды ВНИИЗ. — 1981. — № 96. — С. 38–42.
3. Сорочинский, В. Ф. Изменение температуры пристенного слоя зерна в металлических элеваторах / В. Ф. Сорочинский // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2016. — № 4. — С. 13–16.
4. Научный анализ хранения зерна в металлических силосах / Л. И. Мачихина [и др.] // Хлебопродукты. — 2012. — № 9. — С. 54–59. ■