

УДК 631.2

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА ВЕНТИЛИРОВАНИЯ НА ХРАНИМОЕ ЗЕРНО В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИЛОСАХ БОЛЬШОЙ ЕМКОСТИ

Кечкин И.А., аспирант, м.н.с.

ВНИИЗ-филиал «ФНЦ пищевых систем им В.М. Горбатова» РАН, Москва

**Аннотация.** Проведено изучение влияния температуры и относительной влажности воздуха при длительном хранении зерна пшеницы в металлическом силосе направленное на выявление возможности появления конденсированной влаги под крышей силоса. Выявлены вероятные периоды возникновения конденсата в пространстве под крышей силоса в зависимости от перепада температур внутри и снаружи силоса. Предложены способы предотвращения образования конденсата.

**Ключевые слова:** хранение зерна, металлический силос, температура внутри силоса, температура наружного воздуха, хранения, относительная влажность воздуха, образование конденсата, перепад температуры.

**Abstract.** The study of the influence of temperature and relative humidity during long-term storage of wheat grain in a metal silo aimed at identifying the possibility of condensed moisture under the roof of the silo. The probable periods of condensate occurrence in the space under the silo roof depending on the temperature difference inside and outside the silo are revealed. Methods of preventing the formation of condensate are proposed.

**Key words:** grain storage, metal silo, inside silo temperature, outside air temperature, storage, relative humidity, condensate formation, temperature drop.

**Введение.** 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 [1].

Металлические силосы с плоским дном, предназначенные для хранения зерна, комплектуются двумя установками воздействия на воздушное пространство внутри силоса: активное вентилирование зерновой массы и вентилирование пространства над зерном под крышей силоса. Активным вентилированием воздействуют на зерновую массу восходящим потоком атмосферного воздуха. Эту установку включают для охлаждения зерна с целью увеличения сроков хранения, для предупреждения или устранения самосогревания в зерновой массе. Установку для вентилирования надзернового пространства используют для удаления конденсата, образующегося в процессе хранения зерна и осевшего на конструкциях силоса.

Максимальный эффект воздействия активного вентилирования на зерновую массу достигается при подаче нормативного объема воздуха не менее  $10 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{т}$ . Подачу требуемого объема воздуха не зависимо от конструкции и комплектации силоса, и зерновой культуры, заложенной на хранение, предлагаем обеспечивать изменением высоты слоя зерна. При меньшей толщине слоя подается больший объем воздуха. Контроль уровня высоты зерна в силосе предлагаем осуществлять по перепаду давления воздуха внутри зерновой массы. Для этого снаружи силоса устанавливают дифманометр, на циферблате которого нанесены отметки минимального перепада давления воздуха для разных зерновых культур. Включают вентилятор, если стрелка дифманометра ниже отметки на циферблате, то требуется уменьшить массу зерна в силосе. Уменьшение массы осуществляют до тех пор, пока стрелка дифманометра не совпадет с отметкой на

циферблате. В этом состоянии вентилируют зерновую массу, в которую подается нормативный объем воздуха. После вентилирования выгруженное зерно возвращают в силос. Расход воздуха определяется по перепаду давления в зерновом слое определенной толщины. Такой способ не требует учета возможных утечек воздуха между вентилятором и зерновой массой, в отличие от применяемого способа определения расхода воздуха на вентиляторе. Этот способ может быть использован для оценки герметичности и эффективности силоса в процессе эксплуатации.

**Обсуждение результатов.** Установлено, что конденсат образуется при двух вариантах состояний воздуха атмосферы и над зерном. В первом варианте снаружи 100% влажность (дождливая погода), температуры воздуха над зерном и снаружи приблизительно равны. Вентилирование не целесообразно.

Во втором варианте температура снаружи резко понижается, но температура над зерном повышается за счет выделения тепла из глубинных слоев зерновой массы. Вместе с теплом выделяется влага из зерна, образуя конденсат в надзерновом пространстве. В этом случае происходит естественное движение воздуха вверх через зерновую массу при малых скоростях за счет перепада давления по высоте силоса.

На рисунке 1 представлены графики изменения температурно-влажностных параметров воздуха в силосе вместимостью 2000 тонн, с 20 сентября до 10 октября. В период с 29 сентября по 6 октября имело место повышение температуры в надзерновом пространстве под крышей силоса с 10°C до 20°C, кривая 4. Одновременно понизилась температура снаружи с 10°C до 0°C, кривая 5. В надзерновом пространстве увеличилось влагосодержание с 7 г/м<sup>3</sup> до 12 г/м<sup>3</sup> и имелись периоды образования конденсата. В этот период целесообразно осуществить вентилирование пространства под крышей, с целью снижения содержания влаги в воздухе и предупреждения образования конденсата.

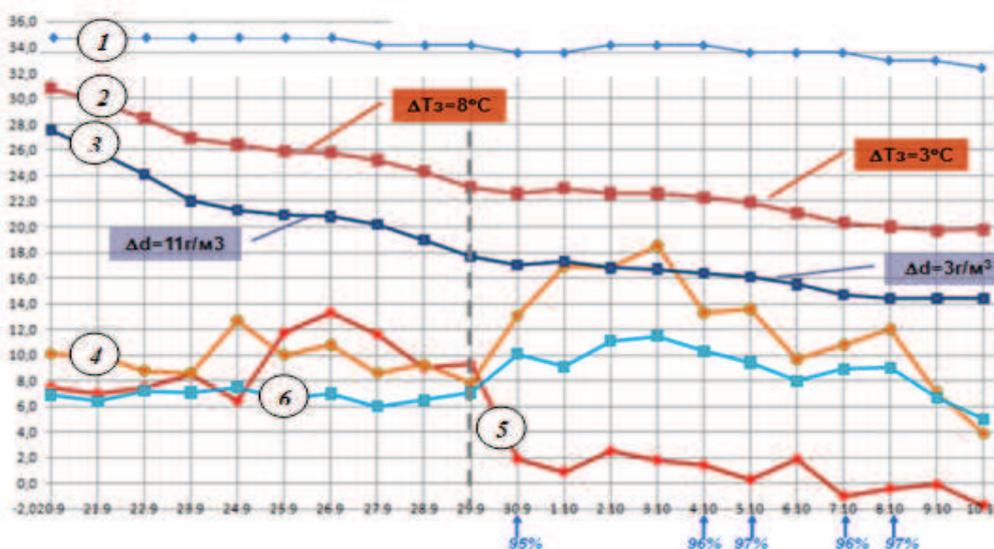


Рисунок 1 - Среднесуточные изменения параметров воздуха внутри и снаружи силоса вместимостью 2000 тонн зерна: 1 – температура на глубине 1 м от поверхности зерна; 2 – температура в поверхностном слое зерна, 70 мм; 3 – влагосодержание воздуха в поверхностном слое зерна; 4 – температура воздуха над зерном, 600 мм от поверхности; 5 – температура наружного воздуха; 6 – влагосодержание воздуха над зерном.

На следующих ниже четырех рисунках приведены изменения значений температуры (нижняя кривая) и относительной влажности воздуха (верхняя кривая) в верхней части силоса и снаружи. Силос был заполнен зерном пшеницы в полном объеме массой 10000 тонн. На рисунке 2 представлены изменения параметров воздуха внутри зерновой массы на глубине 70 мм от поверхности. Образование конденсата имело место в начале февраля.

За основной период наблюдений относительная влажность воздуха практически не изменялась, среднее значение составляло около 70%. Температура изменялась от 12°C в начале наблюдений до -12°C в конце декабря. Изменения значений относительной влажности и температуры имели плавный характер без значительных колебаний.

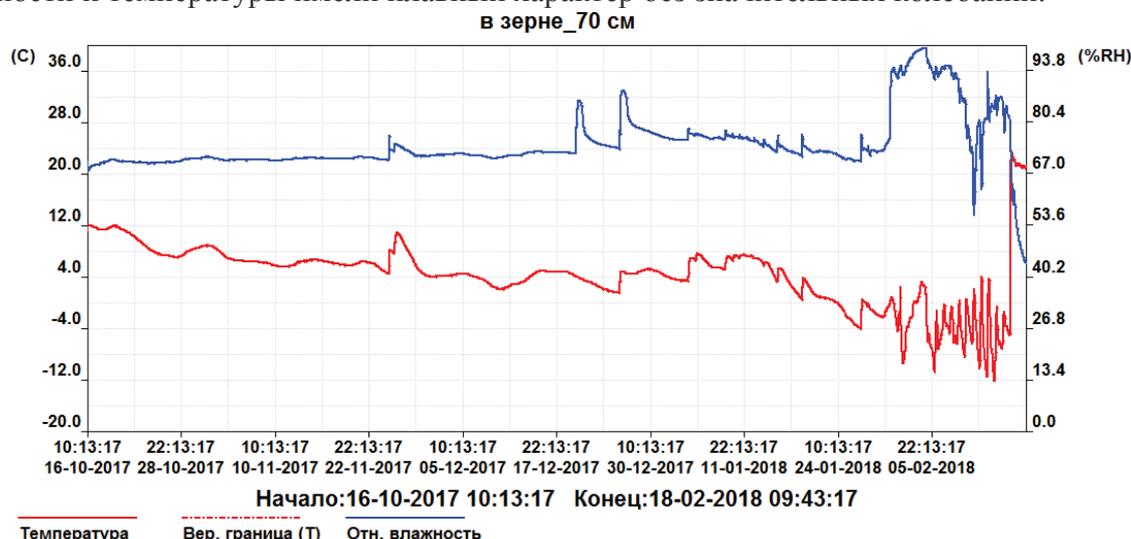


Рисунок 2 - Изменения значений относительной влажности (верхняя кривая) и температуры (нижняя кривая) в слое зерна на глубине 70 мм от поверхности.

На рисунке 3 представлены изменения параметров воздуха на поверхности зерновой массы. Образование конденсата наблюдалось в конце января - начале февраля с опережением на 5 – 10 суток образования конденсата в слое на глубине 70 мм. Относительная влажность изменялась в диапазоне от 55% до 100%.

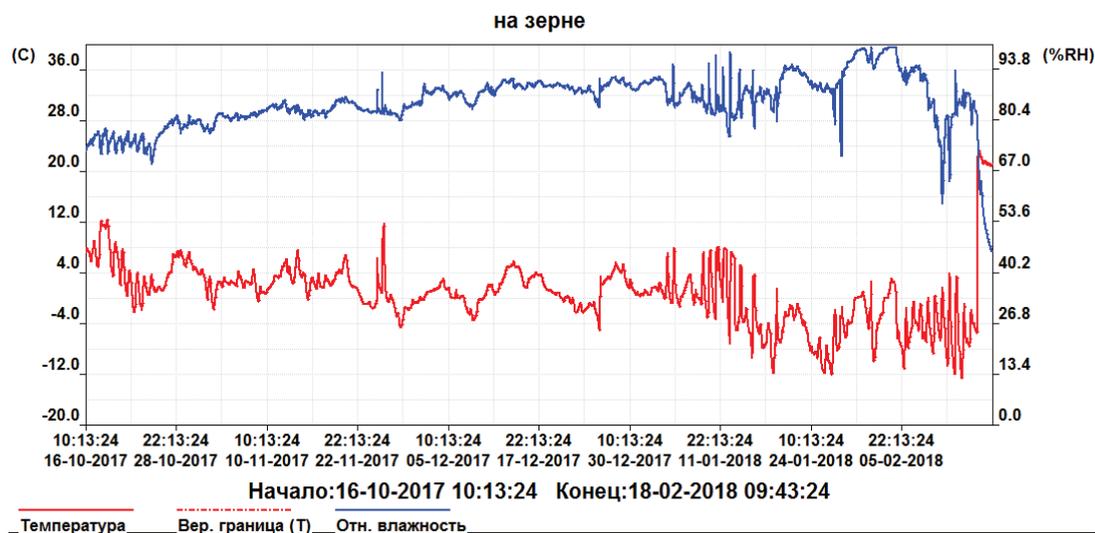


Рисунок 3 - Изменения значений относительной влажности (верхняя кривая) и температуры (нижняя кривая) на поверхности зерновой массы.

Представленные данные свидетельствуют о том, что в силосе произошло увлажнение зерновой массы, сначала поверхностного слоя, а затем в верхнем слое на глубине 70 миллиметров. Можно предположить, увлажнение произошло вследствие

выпадения конденсата из воздуха надзернового пространства и накопившегося конденсата на внутренних конструкциях крыши силоса [2].

Температура на поверхности зерновой массы изменялась в тех же пределах, что и температура в верхнем слое зерна от 12°C до -12°C (рисунок 4). В течение непродолжительного периода хранения, но в одно и тоже время изменения температуры, наблюдались колебания относительной влажности. Амплитуда колебаний относительной влажности находилась в пределах 20%, а температуры в пределах 16°C.

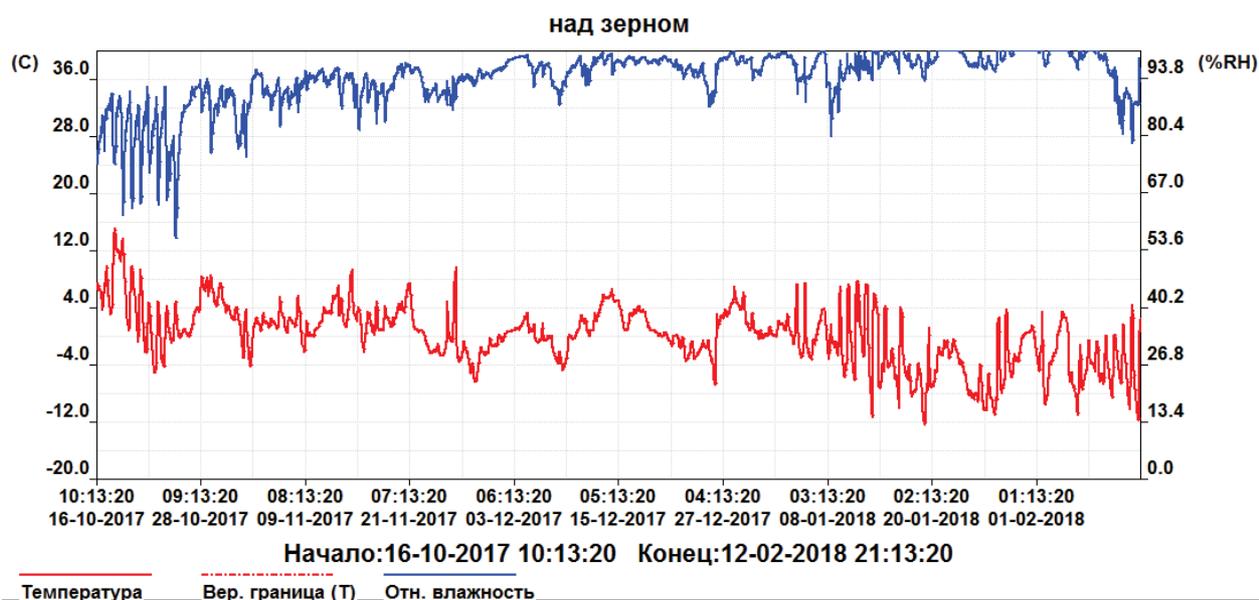


Рисунок 4 - Изменения значений относительной влажности (верхняя кривая) и температуры (нижняя кривая) над зерновой массой под крышей силоса.

Температура в надзерновом пространстве изменялась в диапазоне от 15°C до -12°C, рисунок 4, при изменении температуры снаружи от 15°C до -21°C, рисунок 5. Тенденция изменения температуры над зерном соответствовала изменениям температуры снаружи и близко соответствовала изменениям температуры на поверхности зерна. Периоды колебаний температуры над зерном и ее амплитуда соответствовали периодам колебаний и амплитуде температуры на поверхности зерна. Колебания температуры над зерном и на зерне происходили с большей частотой и амплитудой по сравнению с колебаниями наружной температурой. Такое соотношение температур в верхней части силоса и снаружи можно объяснить неравномерным выделением тепла из глубинных слоев зерновой массы под крышу силоса. Имелись периоды превышения температуры над зерном относительно температуры снаружи, а затем температуры снаружи и под крышей силоса выравнивались. Такие колебания температуры имели место даже в течение суток, видимо тепло из глубинных слоев зерновой массы выделяется импульсами. При импульсном выделении тепла аналогично изменялась относительная влажность воздуха.

В металлическом силосе наиболее неблагоприятные условия хранения создаются в верхней части зерновой насыпи [3].

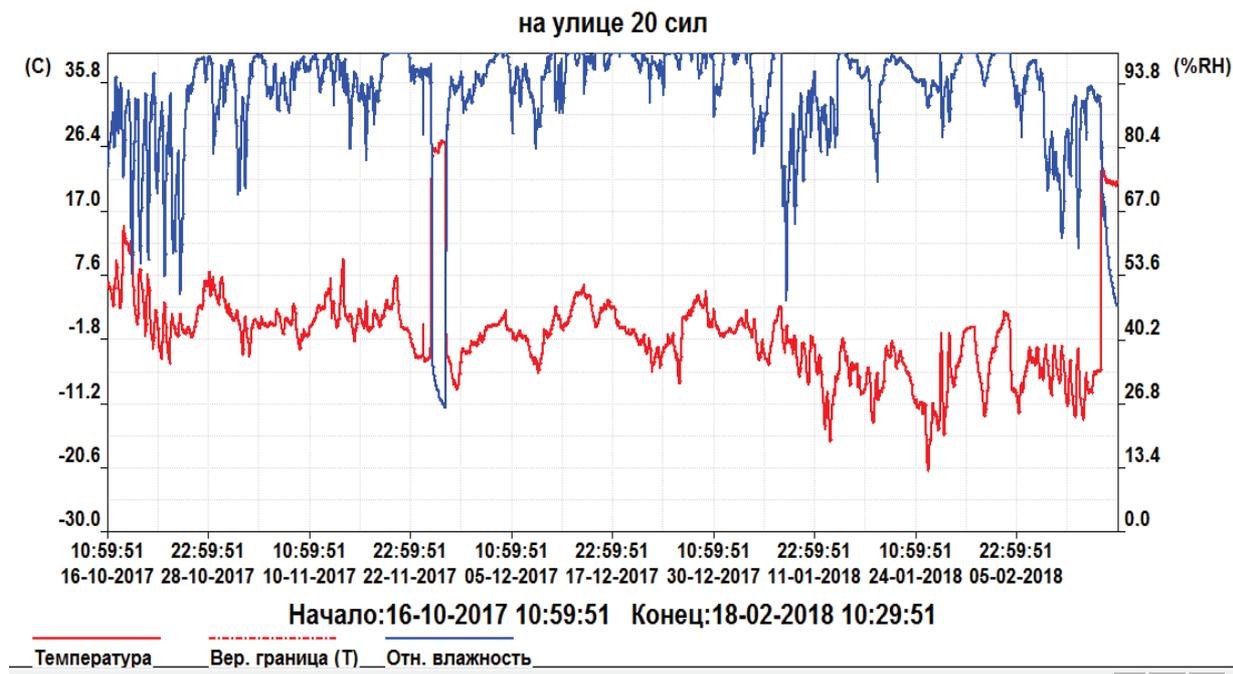


Рисунок 5 - Изменения значений относительной влажности (верхняя кривая) и температуры (нижняя кривая) снаружи силоса.

Образование конденсата в надзерновом пространстве происходило на втором месяце наблюдений или третьем месяце хранения после заполнения силоса. Общее время образования повышенной влажности воздуха, более 98%, в надзерновом пространстве составило около 600 часов. При положительной температуре и 100% влажности снаружи, в надзерновом пространстве воздух имел близкие с наружным значения температур, а относительную влажность не более 90%. При температуре снаружи около 0°C и ниже, и влажности воздуха 100%, в надзерновом пространстве имело место образование конденсата. Температуры воздуха внутри силоса и снаружи были приблизительно равными, различия составляли 1-2°C.

Имелись периоды, при которых конденсат в надзерновом пространстве образовывался при более сухом воздухе снаружи. Это происходило при положительной температуре над зерном и отрицательной температуре снаружи. Такое состояние соответствовало периодам импульсного выделения тепла из глубины зерновой массы. Эти периоды образования конденсата представлены в ниже следующей таблице. В каждом периоде, приведенном в таблице, наружная температура изменялась в пределах не более 5°C. Конденсат, образовавшийся в периоды выделения тепла, представляет наибольшую опасность для сохранения зерна. Если при 100% влажности воздуха снаружи (дождливой погоде), воздух в надзерновом пространстве охлаждался не более чем на 1 - 2°C, то при состоянии выделения тепла из зерна, воздух охлаждается более 10°C, например, 12 января с +7°C до -5°C (согласно данным таблицы). При охлаждении на 1 - 2°C, в диапазоне температур от -15°C до +15°C, в точке росы влагосодержание уменьшается на 0,1 г/м<sup>3</sup> - 0,6 г/м<sup>3</sup>. Это количество влаги выпадает из воздуха. При охлаждении на 12°C, в пределах приведенного выше примера, влагосодержание уменьшается на 6 г/м<sup>3</sup>. Из воздуха может выделиться влаги на порядок больше по сравнению с количеством влаги, выделяемой при дождливой погоде [4].

Время образования конденсата, вследствие выделения тепла из зерновой массы, составило менее 15% от общего периода образования конденсата в силосе в настоящих

исследованиях. В эти периоды образования конденсата следует вентилировать пространство под крышей силоса с целью предотвращения образования конденсата и выведения излишней влаги из внутреннего объема зернохранилища. Полученные данные наблюдений изменения температурно-влажностных параметров воздуха в силосе вместимостью 10000 тонн подтверждают результаты исследований в силосе вместимостью 2000 тонн.

Таблица 1. - Температурно-влажностные параметры воздуха в силосе вместимостью 10000 тонн.

ПЕРИОД ОБРАЗОВАНИЯ КОНДЕНСАТА НАД зерном при относительной влажности 98÷100%					Температурно-влажностные параметры воздуха (средние значения)							
Начало		Окончание		Всего часов	Над зерном под крышей силоса Температура	Снаружи силоса		На поверхности зерна		В верхнем слое зерна на глубине 70 мм		
Дата	Время	Дата	Время			Температура	Отн.Влаж, %	Температура	Отн.Влаж, %	Температура	Отн.Влаж, %	
10.1	9.00	10.1	11.00	2	1,6	-3,3	88	2,9	93	7	77	
10.1	11.00	10.1	16.00	5	6,4	-2,5	75	7,5	84	7	77	
11.1	8.00	11.1	9.00	1	-2	-6,7	89	2,6	95	7	77	
11.1	17.00	11.1	19.00	2	6,8	-1,7	90	7,9	84	7,5	76	
12.1	10.00	12.1	12.00	2	4,5	-5	87	7	85	7	76	
12.1	13.00	12.1	20.00	7	7	-5	83	7,8	82	7	75	
13.1	8.00	13.1	22.00	14	5	-12	80	6,8	82	7	75	
14.1	9.00	14.1	15.00	6	-4,3	-9	83	-4	86	6	74	
14.1	15.00	14.1	21.00	6	4	-7,7	84	5	83	6	74	
16.1	10.00	16.1	18.00	8	3,5	-6	92	3,2	81	5	73	
25.1	20.00	26.1	4.00	8	-9	-20	89	-10	88	-2	71	
27.1	20.00	28.1	1.00	5	-5	-15	88	-6	89	0,2	73	
1.2	17.00	1.2	18.00	1	2	-9,7	95	2,2	99	1,7	95	
1.2	18.00	1.2	19.00	1	-0,7	-10,3	94	-1,4	98	-1,3	94	
12.2	20.00	12.2	21.00	1	-1,6	-9,7	86	-6,8	81	-6,5	80	
				Σ 69								

Результаты проведенного исследования были доложены на международной научно-практической конференции «Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова», Москва, 2018.

**Выводы.**

1. Выявлено, что при хранении зерна в металлическом силосе на поверхности зерновой массы, а в последующем и в глубине верхнего слоя (около 70 мм) образуется конденсат, снижающий стойкость зерна к хранению. Для обеспечения сохранности зерна требуется вентилирование пространства над зерном, под крышей.
2. Установлено, что конденсат образуется при двух вариантах состояний атмосферы и воздуха над зерном. В первом варианте снаружи воздух имеет 100% влажность (дождливая погода), температуры воздуха над зерном и снаружи приблизительно равны.
3. Во втором варианте температура снаружи понижается, но температура над зерном повышается за счет выделения тепла из глубинных слоев зерновой массы. Вместе с теплом выделяется влага из зерна, образуя конденсат в верхней части силоса. В этом

случае происходит естественное вентилирование зерновой массы при малых скоростях воздуха за счет перепада давления по высоте силоса.

4. Вентилирование надзернового пространства следует осуществлять в периоды образования конденсата вследствие выделения тепла под крышу силоса, когда в атмосфере более сухой воздух по сравнению с воздухом внутри верхней части силоса. Вентиляторы должны включаться автоматически при достижении определенной разности температур под крышей силоса и снаружи.

#### *Литература*

1. Кечкин И. А. «Аэродинамические параметры воздуха при вентилировании зерна в силосах вместимостью 1000, 2000, 5000 и 10000 тонн», сборник научных трудов I-ой Международной научно-практической конференции молодых ученых и аспирантов. 2018. С. 46
2. García Nieto P.J., García-Gonzalo E., Bové J., Duran-Ros M., Puig-Bargués J., Modeling pressure drop produced by different filtering media in microirrigation sand filters using the hybrid ABC-MARS-based approach, MLP neural network and M5 model tree // Computers and Electronics in Agriculture. 2017. С.68
3. Кечкин И. А., Разворотнев А. С., Гавриченко Ю. Д. Изменения параметров воздуха внутри металлического силоса при хранении пшеницы //Сборник материалов II Международной научно-практической конференции «Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции». 2017. С. 451
4. Bhatta, M., Belamkar, V., Baenziger, P.S., Morgounov, A. Genome-wide association study reveals novel genomic regions for grain yield and yield-related traits in drought-stressed synthetic hexaploid wheat // International Journal of Molecular Sciences. 2018. С.55