Елесе́ев Влади́мир Влади́рович – генеральный директор ООО «Робопроб», e-mail: v_eliseev@land.ru.

Солда́тов Па́вел Дми́триевич – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: pavsoldatov@gmail.com.

Бабанский Иван Владимирович – соискатель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: mr.babansky2011@yandex.ru.

Романенкова Мария Сергеевна – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Россия, г. Москва, e-mail: mashkaromanenkova@mail.ru.

Author credentials

Affiliations

Balabanov Victor - Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: vbalabanov@rgau-msha.ru.

Eleseyev Vladimir – General Director of LLC “Roboprob”, e-mail: v_eliseev@land.ru.

Soldatov Pavel – graduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: pavsoldatov@gmail.com

Babansky Ivan – applicant of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: mr.babansky2011@yandex.ru

Romanenkova Maria – postgraduate student of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy”, Russia, Moscow, e-mail: mashkaromanenkova@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 15.05.2020 Принята к публикации (Accepted): 19.06.2020

УДК 632.08:631.2

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-40-46

ОСОБЕННОСТИ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗЕРНОВОЙ НАСЫПИ, НАХОДЯЩЕЙСЯ НА ХРАНЕНИИ В ГЕРМЕТИЧНОМ СИЛОСЕ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДОЙ

¹Латышенко Михаил Борисович

¹Макаров Валентин Алексеевич

¹Латышенко Надежда Михайловна

¹Слободскова Анастасия Анатольевна

¹Ивашкин Алексей Викторович

¹ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева»

Реферат. В процессе хранения зерна в нём происходят потери в массе и его качестве. Основными причинами этих потерь являются: биологические потери (возникающие в процессе дыхания зерна, интенсивность которого зависит от температуры и влажности окружающей среды); потери от жизнедеятельности насекомых вредителей, грызунов, которые могут в него проникнуть. Предложена принципиально новая технология для хранения семенного материала в условиях, характерных для малых и средних фермерских хозяйств, в закрытой системе – контейнер, с регулируемой в нём воздушной и газовой средой внутри контейнера. Исследования проводятся в системе, в которой установлено, что процесс дыхания семян в закрытой системе происходит с выделением углекислого газа в объёме воздуха, находящегося внутри контейнера, который характеризуется дыхательным коэффициентом. Установлено, что при определении

массы воздушной среды можно получить выражение, подчиняющееся уравнению Менделеева-Клапейрона для идеального газа для внешних климатических условий, на основании которого можно определить массовое содержание углекислого газа в воздушной смеси, описываемых математическими выражениями. Для получения исходных данных к расчёту ёмкости накопителя представляется новая оригинальная установка из герметизированного контейнера с вакуумметром. Установлено, что при оптимальном давлении 0,66 Мпа в рабочем объёме контейнера всхожесть семян пшеницы не теряется, и на основании полученных результатов строится графическая зависимость изменения вида дыхания, в межзерновом пространстве, при достижении 14,5 %. В заключении показывается, что при принудительной аэрации, содержание кислорода в воздушной смеси находится в пределах 7 %.

Ключевые слова: хранение, семенное зерно, контейнер, углекислый газ, принудительная аэрация.

FEATURES OF VENTILATION OF THE GRAIN MAY STORED IN A SEALED SEAL BIND WITH A REGULATED AIR

¹Latyshenok Mikhail

¹Makarov Valentin

¹Latyshenok Nadezhda

¹Slobodskova Anastasia

¹Ivashkin Alexey

¹FSBEI HE "Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva"

Abstract. During storage, losses in mass and grain quality occur. The main reasons for these losses are: biological losses (occurring in the process of respiration of the grain, the intensity of which depends on the temperature and humidity of the environment); losses from the vital activity of insect pests, rodents, which can penetrate into the grain mass. The article discusses a fundamentally new way of storing seed grain in conditions typical for small and medium-sized farms in a closed system - a container with an adjustable air gas environment. Research is being conducted by the system. It has been established that the processes of seed respiration in a closed system occur with the release of carbon dioxide in the volume of oxygen, which is characterized by a respiratory coefficient. It is established that when determining the mass of the air medium, one can obtain an expression obeying the Mendeleev-Klaiperon equation for an ideal gas for external climatic conditions, on the basis of which it is possible to determine the mass content of carbon dioxide in the air mixture, described by mathematical expressions. To obtain the initial data for calculating the capacity of the drive, a new original installation from a sealed container with a vacuum gauge is presented. It was found that at an optimum pressure of 0.66 MPa in the working volume of the container, the germination of wheat seeds is not lost, and based on the results obtained, a graphical dependence of the change in the type of respiration in the intergranular space is built when it reaches 14.5 %. In conclusion, it is shown that with forced aeration, the oxygen content in the air mixture is within 7 %.

Keywords: storage, seed grain, container, carbon dioxide, forced aeration.

Введение. В современных условия развития агропромышленного комплекса малые фермерские хозяйства вынуждены самостоятельно заниматься вопросами подготовки и хранения семян районированных сортов зерновых культур.

Во время хранения в зерне идут сложные биохимические процессы, связанные с переходом низкомолекулярных органических веществ, образовавшихся в ходе фотосинтеза растений, в высокомолекулярные: полисахариды, белки и жиры.

Предварительные исследования предложенного нового способа хранения семенного зерна позволяют утверждать, что наиболее экономически целесообразной технологией хранения семенного зерна, для малых и средних фермерских хозяйств, является хранение его в металлических контейнерах. Но эта технология не находит широкого применения из-за ряда существенных недостатков. К этим недостаткам относятся проблемы с возможным образованием конденсата влаги на его внутренних стенках из-за колебаний температуры окружающей среды, и,

соответственно, изменения влажности воздушной массы в межзерновых слоях, а также изменения состава воздуха внутри контейнера.

Влага является основной опасностью для зерна при хранении. В тоже время снижение концентрации кислорода заставляет перейти зерно на анаэробное дыхание, при котором в зерновой массе начинаются процессы, аналогичные спиртовому брожению, из-за чего оно теряет свою всхожесть и качество. В этом плане, чтобы избежать этих явлений, целесообразно организовать хранение семенного зерна в контейнере с частичным разряжением воздушной среды, позволяющее не допустить образование конденсационной влаги внутри этого контейнера в процессе вентиляции межзернового пространства и замедлить, соответственно, скорость аэробного дыхания зерна.

Цель исследований – обоснование объема выделяемого углекислого газа к объему поглощаемого кислорода с экспериментальной проверкой наличия массы воздушной смеси в контейнере в зависимости от его объема и изменения вида дыхания.

Материалы и методы. Для получения исходных данных для расчета объема емкости накопителя углекислого газа были проведены исследования с использованием оригинальной лабораторной установки [1, 2, 3], состоящей из герметичного контейнера, на крышке которого был смонтирован вакуумметр.

Контейнер имел также атмосферный золотник для подачи воздуха из окружающей среды. Удаление отработанной воздушной массы из контейнера, с повышенным содержанием в воздушной массе углекислого газа, в разряженной атмосфере внутри него проводилась с помощью вакуумного насоса.

Контроль микроклиматических условий внутри контейнера осуществлялся с помощью регистратора влажности и температуры воздуха с USB – интерфейсом, а содержание кислорода в воздухе и углекислого газа в смеси проводилось с помощью универсального газоанализатора.

Исследования проводились в следующей последовательности. После очистки и сортировки семена яровой пшеницы засыпались в контейнер, и закрывались герметично крышкой. Затем из контейнера проводилась откачка воздуха с помощью вакуумного насоса и создавалась разряженная атмосфера величиной соответствующей плану проведения экспериментов.

В течение всего эксперимента контроль за состоянием и условиями хранения зерна, осуществлялся с использованием программ для ПЭВМ.

Во время контроля фиксировалась относительная влажность и температура воздушной смеси, а также объем содержания в ней углекислого газа и кислорода. При установлении предельной величины содержания углекислого газа в воздушной смеси, когда дыхательный коэффициент становился больше единицы, проводилась принудительная аэрация зерновой массы.

Для этого, вакуумным насосом из контейнера проводилась откачка использованной воздушной смеси, с пониженным содержанием кислорода. После чего открывался атмосферный золотник, через который атмосферный воздух поступал в контейнер, заполняя всё его свободное пространство. Затем атмосферный золотник закрывался, включался вакуумным насосом, создавая разряжение внутри контейнера до величины определенной методикой проведения экспериментов [4, 5, 6].

Результаты и их обсуждение. При хранении семенного зерна в контейнере с регулируемой воздушной средой мы имеем дело с двумя видами термодинамических систем – как закрытой, так и открытой (рисунок 1).

Рисунок 1 – Взаимодействие термодинамической системы контейнера с окружающей средой

В закрытой системе зерно будет находиться, большую часть времени. Установлено, что в процессе аэробного дыхания семян в контейнере состав воздуха в межзерновом пространстве постоянно меняется, при этом содержание углекислого газа увеличивается, а кислорода – уменьшается.

При повышенном содержании углекислого газа в контейнере становится необходимым производить вентиляцию зерновой массы наружным воздухом для исключения анаэробного дыхания зерна. В связи с этим теоретические исследования по наличию повышенного содержания углекислого газа в контейнере рассматриваются как для закрытой системы.

Процесс дыхания семян характеризуется дыхательным коэффициентом K_d , который определяется отношением объема выделенного углекислого газа к объему поглощенного кислорода воздуха и записывается в виде:

$$K_d = V_{CO_2} / V_{O_2} \quad (2)$$

При аэробном дыхании этот коэффициент принимается за единицу, и в этом случае доли углекислого газа и кислорода будут равны, а при анаэробном дыхании, когда зерно получает кислород за счет использования своих сухих веществ, дыхательный коэффициент будет иметь значение больше единицы.

С уменьшением количества кислорода в контейнере средняя доля углекислого газа в массе воздушной смеси возрастает. Поскольку углекислый газ тяжелее других газов, входящих в состав воздушной смеси, то он может их вытеснять из придонных слоев зерновой массы, находящейся в герметичном контейнере.

В этом случае с увеличением доли углекислого газа создаются условия к переходу зерна на дне контейнера к анаэробному дыханию и поэтому при хранении становится необходимым периодически контролировать содержание кислорода, а так же оборудовать контейнер специальной емкостью для отбора углекислого газа.

Для расчёта объема емкости было принято допущение – так как условная воздушная смесь, находясь внутри герметичного контейнера с температурой близкую к температуре окружающей среды имеет малый объем, её можно считать идеальным газом. Тогда, используя уравнение Менделеева-Клапейрона для идеального газа, было получено выражение для определения масса воздушной смеси в контейнере:

$$m_{\text{воз.см}} = (P_{xp} \cdot \beta \cdot S \cdot V_k \cdot M_{\text{воз.см}}) / (RT_{xp} \cdot 100\%), \quad (3)$$

где $m_{\text{воз.см}}$ – масса воздушной смеси в контейнере, кг;

P_{xp} — давление воздушной смеси внутри герметичного контейнера, Па;

β – степень заполнения контейнера зерновой массой,

S – скважность зерновой массы, %;

V_k – внутренний объем контейнера, м³.

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль⁰К);

T_{xp} – температура воздушной смеси, °К;

M_{cp} – молярная масса воздушной смеси, кг/моль.

Из формулы 3 видно, что при постоянном объёме контейнера и температуре хранения, которая будет зависеть от внешних климатических условий, на процесс дыхания зерна в герметичном контейнере будет оказывать внутреннее давление воздушной смеси внутри и степень заполнения его зерновой массой.

Оптимальные значения этих двух технологических параметра устанавливается в ходе экспериментальных исследований.

Массовое содержание углекислого газа в воздушной смеси может быть определено из выражения:

$$m(CO_2) = \omega(CO_2) \cdot [P_{xp} \cdot \beta \cdot S \cdot V_k \cdot M_{\text{воз.см}}] / (RT_{xp} \cdot 100\%), \quad (4)$$

где $\omega(CO_2)$ – массовая доля углекислого газа в воздушной смеси.

Из выражения 4 можно определить объем емкости для накопления углекислого газа, имеющейся в конструкции контейнера, позволяющей избежать накопления углекислого газа CO_2 в нижних слоях контейнера, что вызывает сокращение лишних циклов аэрации межзернового пространства для обеспечения достаточного количества кислорода воздуха для аэробного дыхания зерна. Объем емкости для углекислого газа может быть определен из уравнения:

$$V_{CO_2} = \frac{m(CO_2) \cdot R \cdot T_{xp}}{M_{cp} \cdot p_{xp}}, \quad (5)$$

где V_{CO_2} – объём емкости для накопления углекислого газа, м³;

M_{cp} – молярная масса углекислого газа, кг/моль;

Результаты и их обсуждение. В ходе проведённых лабораторных исследований было установлено, что оптимальное вакуумметрическое давление в рабочем объёме герметичного контейнера при котором наблюдалось минимальное снижение всхожести семян яровой пшеницы было равно 0,66 Мпа.

Результаты наблюдения за изменением содержания кислорода и углекислого газа в воздушной смеси зерновой насыпи позволяющий контролировать характер дыхания зерна, представлены в виде графической зависимости на рисунке 1.

Рисунок 1 – График изменения вида дыхания зерна пшеницы, заложённой на хранение в герметичной емкости

Из графика (рисунок 1) видно, что процесс аэробного дыхания семенного зерна в герметичной емкости наблюдался до тех пор, пока концентрация кислорода в воздушной смеси, находящейся в межзерновом пространстве зерновой насыпи, не достигла значения 14,5 %. При дальнейшем нахождении зерна в герметичной емкости изменения содержания кислорода в воздушной смеси замедлилась. При этом стал наблюдаться рост содержания углекислого газа, что свидетельствовало о том, что зерно начало переходить на анаэробное дыхание. Концентрация кислорода в воздушной смеси продолжала снижаться до 12,2 %. После достижения этого значения снижение концентрации прекратилось. Из этого было сделано заключение, что при концентрации

кислорода в воздушной смеси 12,2 % зерно по всему объему контейнера перешло на анаэробное дыхание, поэтому для поддержания аэробного дыхания семян пшеницы в герметичном силосе необходимо обеспечить условия, при которых концентрация кислорода в воздушной смеси в нижних слоях не опускалась ниже 14 %, концентрация углекислого газа превышала 7%.

Вычисление объема емкости для углекислого газа было проведено для герметичного контейнера с рабочим объемом 1 м³.

Масса углекислого газа при хранении семян яровой пшеницы имеющих скважность зерновой массы равную 0.4 и концентрации CO₂ в воздушной смеси 7 % составит 0.0105 кг. Тогда объем емкости для углекислого газа, рассчитанный по формуле (5) при наименее благоприятной температуре хранения зерна 293°K определится как:

$$V_{CO_2} = \frac{0,0105 \cdot 8,314 \cdot 293}{44.001 \cdot 66000} = 0,0000088 \text{ м}^3 = 8,8 \text{ л.}$$

Таким образом, на основе анализа установлено, что емкость углекислого газа контейнера для хранения семян объемом 1 м³ должна составлять около 9 литров.

Выводы. Технология хранения семенного зерна в герметичном контейнере с регулируемой воздушной средой, и системой принудительной аэрации зерновой массы, может быть рекомендована для хранения семенного зерна. При этом необходимо создавать и поддерживать в рабочем объеме герметичного контейнера разрежение воздушной смеси в пределах 0,66 МПа. Принудительную аэрацию зерновой насыпи начинать при повышении содержания кислорода в воздушной смеси, находящемся в емкости накопителе углекислого газа выше 7%.

Список литературы

1. Трисвятский Л.А., Лесик Б.В., Курдина В.Н. Хранение сельскохозяйственных продуктов / Под общ. ред. Л.А. Трисвятского. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 1983 - 383с.
2. Пат. 2689732 Российская Федерация, МПК A01F 25/14 Устройство для хранения зерна в регулируемой газовой среде и способ его осуществления / М.Б. Латышенко, А.В. Ивашкин, В.А. Биленко. - № 2018113368; опубл. 28.05.2019, Бюл. №16.
3. Пат. № 2713802 Российская Федерация, МПК A01F 25/14 Устройство хранения зерна в регулируемой воздушной среде и способ его осуществления / М.Б. Латышенко, А.В. Ивашкин Н.М. Латышенко, В.А. Биленко, М.И. Голубенко. - № 2019112936, опубл. 07.02.2020, Бюл. № 4.
4. Латышенко Н.М., Латышенко М.Б., Макаров В.А., Ивашкин А.В. Особенности хранения семенного зерна в герметичных контейнерах с регулируемой воздушной средой // Материалы 70-й Международной научно-практической конференции «Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса». – 2019. – С. 229-233.
5. Латышенко Н.М., Латышенко М.Б., Биленко В.А., Ивашкин А.В. Контейнерный способ хранения семенного зерна в малых фермерских хозяйствах // Материалы 69-ой Международной научно-практической конференции «Инновационное научно-образовательное обеспечение агропромышленного комплекса». – 2018. – С. 58-62.
6. Латышенко М.Б., Костенко М.Ю., Латышенко Н.М., Ивашкин А.В. Лабораторные исследования сохранности семенного зерна в контейнерах с разреженной атмосферой // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2018. - №3 (39). – С. 98 – 102.

References

1. Trisvyatskij L.A., Lesik B.V., Kurdina V.N. Hranenie sel'skohozyajstvennyh produktov / Pod obshch. red. L.A. Trisvyatskogo. - 3-e izd., pererab. i dop. - M.: Kolos, 1983 - 383s.
2. Pat. 2689732 Rossijskaya Federaciya, MPK A01F 25/14 Ustrojstvo dlya hraneniya zerna v reguliruemoj gazovoj srede i sposob ego osushchestvleniya / M.B. Latyshenok, A.V. Ivashkin, V.A. Bilenko. - № 2018113368; opubl. 28.05.2019, Byul. №16.
3. Pat. № 2713802 Rossijskaya Federaciya, MPK A01F 25/14 Ustrojstvo hraneniya zerna v reguliruemoj vozduшной srede i sposob ego osushchestvleniya / M.B. Latyshenok, A.V. Ivashkin N.M. Latyshenok, V.A. Bilenko, M.I. Golubenko. - № 2019112936, opubl. 07.02.2020, Byul. № 4.
4. Latyshenok N.M., Latyshenok M.B., Makarov V.A., Ivashkin A.V. Osobennost' hraneniya semennogo zerna v germetichnyh kontejnerah s reguliruemoj vozduшной sredoj // Materialy 70-j

Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Vklad universitetskoj agrarnoj nauki v innovacionnoe razvitie agropromyshlennogo kompleksa». – 2019. – S. 229-233.

5. Latyshenok N.M., Latyshenok M.B., Bilenko V.A., Ivashkin A.V. Kontejnernyj sposob hraneniya semennogo zerna v malyh fermerskih hozyajstvakh // Materialy 69-oj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Innovacionnoe nauchno-obrazovatel'noe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa». – 2018. – S. 58-62.

6. Latyshenok M.B., Kostenko M.YU., Latyshenok N.M., Ivashkin A.V. Laboratornye issledovaniya sohrannosti semennogo zerna v kontejnerah s razryazhennoj atmosferoj // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2018. - №3 (39). – S. 98 – 102.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Латышенок Михаил Борисович – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», Россия, г. Рязань, e-mail: 1907073@yandex.ru

Макаров Валентин Алексеевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», Россия, г. Рязань, e-mail: va_makarov@rambler.ru.

Латышенок Надежда Михайловна – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», Россия, г. Рязань, e-mail: rgk.rgatu@yandex.ru.

Слободскова Анастасия Анатольевна – кандидат технических наук, старший преподаватель Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», Россия, г. Рязань, e-mail: nastasia_19882010@yandex.ru.

Ивашкин Алексей Викторович – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева», Россия, г. Рязань, e-mail: rgk.rgatu@yandex.ru

Author credentials

Affiliations

Latyshenok Mikhail – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Educational “Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev”, Russia, Ryazan, e-mail: 1907073@yandex.ru.

Makarov Valentin – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Educational “Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev”, Russia, Ryazan, e-mail: va_makarov @rambler.ru.

Latyshenok Nadezhda – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Educational “Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev”, Russia, Ryazan, e-mail: rgk.rgatu@yandex.ru.

Slobodskova Anastasia – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Educational “Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev”, Russia, Ryazan, e-mail: nastasia_19882010@yandex.ru.

Ivashkin Alexey – graduate student of of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Educational “Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev”, Russia, Ryazan, e-mail: rgk.rgatu@yandex.ru.

Поступила в редакцию (Received): 17.04.2020

Принята к публикации (Accepted): 11.06.2020