

СУШКА СЕМЯН РАПСА С ИСКУССТВЕННОЙ ОБОЛОЧКОЙ НА ОСНОВЕ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ

Д. А. МИХЕЕВ, А. А. СЫСОЕВ

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 26.02.2021)

В настоящее время возделывание такой сельскохозяйственной культуры как рапс приобретает все больший интерес. Это связано с тем, что эта культура обладает высоким сельскохозяйственным потенциалом. Семена рапса пользуются хорошим спросом на рынке сельхоз продукции и имеют достаточно высокую стоимость (до 800 у.е. за 1 т.). Учитывая это, многие сельхозпроизводители с каждым годом отводят все больше площадей в свих хозяйствах для возделывания рапса. Для получения высокого урожая необходимо использовать качественные семена с полным соблюдением технологии возделывания. Кроме этого, необходимо применять высокопродуктивные способы предпосевной обработки, к которым относится создание искусственной оболочки на семенах, дражирование и инкрустирование. Семена в оболочке имеют больший посевной потенциал в сравнении с обычными. Это приводит к увеличению урожая и снижению себестоимости возделывания.

После создания искусственной оболочки на семенах они имеют избыточную влажность. Если своевременно не удалить лишнюю влагу из семян, то возникает их комкование, это в конечном итоге негативно сказывается на качестве посевного материала. Поэтому процесс сушки семян очень важен и напрямую влияет на качество готовых семян. Использование существующих зерновых сушилок для семян рапса с искусственной оболочкой нецелесообразно ввиду того, что влажная оболочка может в них повредиться, кроме этого, серийные сушилки рассчитаны на большую производительность, и соответственно имеют достаточно высокую стоимость, что в случае с семенами рапса неоправданно.

В УО БГСХА ведутся научные исследования по созданию искусственных оболочек на семенах. Был разработан и изготовлен центробежный дражировщик семян позволяющий создавать равномерную оболочку на семенах рапса, свеклы и др. культур. Для оптимизации процесса дражирования было принято решение проведение научных исследований по сушке семян с оболочкой внутри камеры смешивания дражировщика.

В статье представлены теоретические исследования по определению количества испаряемой влаги из семян рапса с искусственной оболочкой, а также предварительный расчет времени сушки одной порции семян полученной в разработанном дражировщике.

Ключевые слова: рапс, сушка, искусственная оболочка семян, дражирование, инкрустирование.

Nowadays, the cultivation of such an agricultural crop as rapeseed is gaining more and more interest. This is due to the fact that this crop has a high agricultural potential. Rape seeds are in good demand in the agricultural market and have a fairly high cost (up to 800 USD per 1 ton). Taking this into account, many agricultural producers every year allot more and more areas in their farms for the cultivation of rapeseed. To obtain a high yield, it is necessary to use high-quality seeds in full compliance with the cultivation technology. In addition, it is necessary to use highly productive methods of pre-sowing treatment, which include the creation of an artificial shell on the seeds, pelleting and inlaying. Coated seeds have a higher sowing potential than conventional seeds. This leads to an increase in yield and a decrease in the cost of cultivation.

After creating an artificial shell on the seeds, they have excess moisture. If excess moisture is not removed from the seeds in a timely manner, then their clumping occurs, this ultimately negatively affects the quality of the seed. Therefore, the seed drying process is very important and directly affects the quality of the finished seed. The use of existing grain dryers for rapeseed with artificial casing is impractical, since the wet casing can be damaged in them, in addition, serial dryers are designed for high productivity, and, accordingly, have a rather high cost, which is unjustified in the case of rapeseed.

In Belarusian State Agricultural Academy, scientific research is being conducted on the creation of artificial shells on seeds. A centrifugal seed coater was developed and manufactured, which allows you to create a uniform shell on the seeds of rape, beet and other crops. To optimize the pelleting process, it was decided to conduct scientific research on drying seeds with a shell inside the mixing chamber of the pelletizer.

The article presents theoretical studies to determine the amount of evaporated moisture from rapeseed with artificial casing, as well as a preliminary calculation of the drying time for one portion of seeds obtained in the developed pelletizer.

Key words: rapeseed, drying, artificial seed casing, pelleting, inlaying.

Введение

Создание искусственной оболочки на семенах сельскохозяйственных культур (дражирование и инкрустирование) является перспективным способом предпосевной обработки. Этот способ подготовки семян к посеву позволяет получить многосторонний положительный эффект, такой как защита растений от болезней и вредителей, получение семян правильной формы увеличенного размера, что позволяет упростить их посев с заданной нормой, в состав оболочки входят питательные микро и макро элементы в которых нуждается растение на ранних этапах развития. Это в совокупности позволяет получить значительную прибавку к урожаю, до 10 % и более, без существенных капиталовложений, связанных с большим количеством вносимых удобрений [1, 2, 3]. Кроме этого, наблюдается побочный положительный экологический эффект от использования дражированных семян, такой как

уменьшение рекомендуемых доз вносимых удобрений в почву без снижения урожайности, поскольку часть их наносится на сами семена, коэффициент использования растением таких удобрений намного выше, чем при внесении удобрений в почву. Это положительно отражается на экологических показателях почвы и грунтовых водах.

Для производства дражированных семян используют разные технологии и способы, однако наиболее распространенным является способ постепенного наслаивания оболочки. Для этого применяется специализированное оборудование – дражирователи семян. Процесс производства дражированных семян можно представить следующим образом, подготовленные семена (очищенные и откалиброванные) помещают в камеру смешивания дражирователя куда постепенно подается жидкий связующий компонент и сухой наполнитель. В результате движения семян внутри камеры смешивания сухой наполнитель прилипает к смоченной поверхности семян и формирует слой оболочки. Чередование подачи жидкого и сухого компонента происходит до тех пор, пока на поверхности семени не сформируется оболочка нужного размера. После обработки семена имеют избыточную влажность, она может достигать 40 % и более. Такие семена необходимо высушивать до оптимальной влажности 8...9 % [4].

Если после дражирования (инкрустирования) из семян не удалить лишнюю влагу возникает их комкование, это в конечном итоге негативно сказывается на качестве посевного материала. Семенной материал утрачивает свои посевные свойства, а при хранении семена приобретают затхлый и тухлый запах [5].

Высушивать семена можно как естественным способом, так и с помощью специализированного оборудования. Для сушки семян с оболочкой в основном используют духовые шкафы, поскольку использование стандартных зерновых сушилок может повредить влажную неокрепшую оболочку, из-за высокой плотности движущегося слоя семян. Кроме этого, для сушки посевного материала очень важно соблюдать точные температурные режимы, чтобы максимально быстро высушить семена, не перегрев их. Однако это не всегда возможно сделать в стандартной зерновой сушилке.

Использование духового шкафа для сушки семян с оболочкой имеет ряд недостатков. Для его размещения необходимы значительные производственные площади, особенно при производстве больших партий семян, скорость сушки семян является недостаточной для высокопроизводительной линии, ввиду того, что семена в духовом шкафу находятся в статическом положении, а температура нагрева семян не должна превышать 30...45° С, в зависимости от культуры и их влажности, чтобы не повредить зародыш [6].

Учитывая вышесказанное, считаем перспективным направление разработки интенсивной сушки семян с искусственной оболочкой на их поверхности для увеличения производительности линий по дражированию семян.

Целью настоящей работы является теоретическое обоснование количества испаряемой влаги из семян рапса с искусственной оболочкой на основе бентонитовой глины, а также рассчитать предварительное время сушки одной порции семян, полученных в центробежном дражирователе.

В настоящее время существуют различные виды сушек сыпучих материалов, такие как конвективная; контактная; радиационная; сублимационная; химическая; с помощью токов высокой частоты; сушка в электромагнитных установках и др. Каждый из этих способов имеет свои достоинства и недостатки, но необходимо отметить, что для сушки семян наиболее предпочтителен способ конвективной сушки [7].

Конвективная сушка предполагает высушивание материала (семян) через агент сушки (теплый воздух) при непосредственном их соприкосновении. Она представляет собой испарение влаги с поверхности семян в среду сушильной камеры. Теплота, подводимая агентом сушки, расходуется не только для испарения влаги, но и для нагрева семян. Сегодня существует много различных серийно выпускаемых сушилок семян, далее рассмотрим некоторые из них.

Вибрационные сушилки серии DF компании **PETKUS** (DF 090, DF 120, DF 150) выполняют сушку сырья по принципу вибрационного псевдооживления. Равномерная вибрация, создаваемая вибрационными моторами, и вырабатываемый теплогенератором нагнетаемый вентилятором теплый воздух подается через два регулируемых канала в боковой части и равномерно продувает сырье снизу вверх. Сырье проходит через зигзагообразные сушильные уровни. Компактная, зигзагообразная конструкция сушилок позволяет экономить рабочее пространство, эксплуатацию по выбору с непрерывной, порционной или полупорционной загрузкой сырья. Помимо этого, на двух рабочих уровнях возможна установка различных температурных режимов [5].

В ленточной сушилке DB 150 семена, перемещаемые на ленте, продуваются теплым воздухом, который подается через два боковых воздуховода раздельными вентиляторами, что позволяет воздуху равномерно проходить через семена снизу вверх. Теплый воздух проходит через увлажненные зерна и поглощает влагу с их поверхности. Затем влажный воздух удаляется через выпускной воздуховод [8].

В шахтных сушилках непрерывного действия серий **DW, DD** компании **PETKUS** сырье поступает в сушильную шахту сверху и проходит через поочередно расположенные конические, воздушные каналы вплоть до места разгрузки. При этом сырье постоянно перемешивается и равномерно обдувается горячим воздухом. Требуемый поток воздуха нагнетается осевыми вентиляторами в верхней части вытяжного воздушного канала. При использовании рециркуляционных вентиляторов (серии **DWU, DDU**) они выполняют подмешивание к горячему воздуху насыщенный горячий воздух из нижних секций сушилки, а также холодный воздух. Благодаря режиму работы с рециркуляцией воздуха снижается потребление энергии. К недостаткам можно отнести возможность образования комков и забивания, большие габаритные размеры, высокая температура воздуха, сложность управления процессом [9].

Универсальные зерновые сушилки шахтного типа модельного ряда «Green Way» GW-25 (35, 40, 60) с вместимостью соответственно 25,35, 40 и 60 т (по пшенице) производимые Борисовским заводом «Металлист» по принципу действия схожи с иными шахтными сушилками и им присущи те же достоинства и недостатки [10].

Мобильные зерносушилки сушилки Dozamech серии SM (1, 2, 3) вместимостью 9–31 тонн семян работают по принципу порционной сушки: сырье загружают, просушивают, охлаждают и затем выгружают. Горелка подает горячий воздух внутрь бака, который проходит через зерно и выходит через перфорацию в металле. Семена прогреваются и отдают влагу воздуху, который выносит ее из сушилки [11].

Мобильная шахтная сушилка ПОЛЫМЯ М 20 вмещает от 6 до 21 м³ материала отличается автономным исполнением теплообменник выполнен из оцинкованной стали, температура горячего воздуха устанавливается в пределах 70–90 °С [12].

Проанализировав серийно выпускаемые сушилки для зерна, можно сделать вывод, что использование их для семян с искусственной оболочкой не оправдано, ввиду высокой их производительности (для семян с оболочкой это не ключевой параметр) и соответственно стоимости, ограниченности использования для мелкосеменных культур, большой силой трения, возникающей между семенами в процессе сушки, которая может разрушить не окрепшую оболочку на семенах.

Процесс конвективной сушки семян включает ряд составляющих:

- приготовление агента сушки (нагрев воздуха)
- испарение влаги (подача агента в сушильную камеру на семена)
- удаление влаги из сушильной камеры (отвод сушильного агента из камеры).

Использование конвективной сушки для семян с искусственной оболочкой возможно, как внутри камеры смешивания дражиратора, так и с использованием дополнительного оборудования (сушилки). При этом необходимо учитывать ряд факторов для качественного выполнения технологического процесса сушки семян:

- водяной пар, который образуется в результате сушки, перемещается в места с пониженным давлением;
- тепловой поток распространяется из мест сушильной камеры с высокой температурой в места с низкой температурой;
- скорость сушки искусственно увлажненных и мытых семян больше по сравнению со скоростью сушки семян той же влажности, сформировавшейся естественным путем;
- превышение предельно допустимой температуры агента сушки может вызвать закал семян – образование на его поверхности твердой корки, мешающей дальнейшему выделению влаги из середины семени, то же самое может произойти и с искусственной оболочкой;
- скорость сушки зависит от скорости сушильного агента, состояния и толщины слоя, характера взаимодействия семян и агента сушки, степени механического перемешивания семян, температуры сушильного агента, влажности семян, вида семян (культуры), целевого назначения семян, температуры зерна и др.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что на процесс сушки семян влияют множество факторов, поэтому к расчету сушилок нужно подходить тщательно и обоснованно.

Нами предлагается аналитический метод расчета количества испаряемой влаги из дражированных семян рапса, а также предварительный расчет времени сушки семян внутри камеры смешивания дражирователя.

Основная часть

После формирования искусственной оболочки на поверхности семян они имеют избыточную влажность, значительно превышающую те показатели, при которых семена можно хранить. Основная влага концентрируется в созданной оболочке семени, не успевая за короткий промежуток времени обработки в дражирователе проникнуть внутрь. Существуют рекомендации, свидетельствующие о том, что температура сушильного агента при сушке семян должна снижаться по мере увеличения их влажности [13]. Однако эти рекомендации представлены для необработанных семян, имеющих относительно однородную влажность в своей структуре. Сушка же семян с искусственной оболочкой будет проходить при других режимах. Для точного установления этих режимов необходимо проведение экспериментальных исследований, однако предварительное время сушки можно определить теоретически, учитывая нижние границы изменения температуры агента сушки и семян, а также свойства наносимых компонентов.

Для необработанных семян рапса температура сушильного агента (воздуха) не должна превышать значений 40...50 С, а температура самих семян 30 С. С учетом этих значений проведем базовый расчет по определению предварительного времени сушки семян при нижней границе температуры.

Семена перед сушкой имеют массу G_1 , влажность w_1 и температуру t_1 . В процессе сушки происходит удаление влаги, что сопровождается изменением массы, влажности и температуры семян до значений G_2 , w_2 , t_2 . При отсутствии потерь материала в процессе сушки количество абсолютно сухого вещества, заключенного в нем, остается постоянным.

Количество испаряемой влаги из семян можно определить по формуле:

$$W = G_1 - G_2 . \quad (1)$$

Если учесть влажность до обработки w_1 и влажность после обработки w_2 , можно представить количество испаряемой влаги в следующем виде:

$$W = G_2 \frac{w_1 - w_2}{100 - w_1} \quad (2)$$

Это выражение позволяет определить производительность сушки по исходному материалу и испаренной влаге при заданных значениях влажности до и после сушки семян, а также необходимого количества высушенных семян.

Влажность готовых семян рапса с оболочкой, если они производятся задолго до посева, должна быть в пределах 9 % [4]. Тогда значение w_2 в формуле 2 будет равно 9 %.

Для определения влажности w_1 необходимо учесть влажность семян до обработки $w_{\text{сем}}$, влажность сухого компонента $w_{\text{сух}}$ (бентонитовой глины) и влажность жидкого компонента $w_{\text{жид}}$.

В результате проведенных экспериментальных исследований [14] было установлено, что для формирования оболочки на поверхности семян из сухой смеси на основе бентонитовой глины, можно в качестве жидкого компонента использовать воду в соотношении объемов 4/1.

Тогда для обработки 1 м³ семян ($V_{\text{сем}}$) с коэффициентом изменения объема $k_{\text{об}}=2$, необходимо 1,2 м³ сухой бленды ($V_{\text{сух}}$) и 0,3 м³ воды ($V_{\text{жид}}$). Если учесть то, что семена обрабатывают уже высушенными, тогда получается $w_{\text{сем}}=9\%$, а избыточная влажность фактически получается в оболочке.

Заявленная влажность бленды составляет $w_{\text{сух}}=5-7\%$, объемная масса $\rho_{\text{сух}}=610 \text{ кг/м}^3$, тогда w_2 будет равно:

$$w_2 = (V_{\text{сух}} \cdot \rho_{\text{сух}} \cdot w_{\text{сух}} + V_{\text{жид}} \cdot \rho_{\text{жид}} \cdot w_{\text{жид}}) \cdot 100\% / (V_{\text{сух}} \cdot \rho_{\text{сух}} + V_{\text{жид}} \cdot \rho_{\text{жид}}) = \\ = (1,2 \cdot 610 \cdot 0,05 + 0,3 \cdot 1000 \cdot 1) \cdot 100\% / (1,2 \cdot 610 + 0,3 \cdot 1000) = 31,8\% . \quad (3)$$

Получается влажность созданной искусственной оболочки из бентонитовой глины составляет 31,8 %. С учетом того, что обрабатываемые семена обычно имеют такую же влажность, что и семена с оболочкой, расчет удаления избыточной влаги будем проводить относительно веса и влажности самой оболочки без учета самих семян.

Примем конечную влажность искусственной оболочки на уровне с семенами 9 %, тогда количество испаряемой влаги будет равно:

$$W = (V_{\text{сух}} \cdot \rho_{\text{сух}} + V_{\text{жид}} \cdot \rho_{\text{жид}}) \frac{w_1 - w_2}{100 - w_1} = (1,2 \cdot 610 + 0,3 \cdot 1000) \frac{31,8 - 9}{100 - 31,8} = 345 \text{ (кг)} \quad (4)$$

Получается следующее: при обработке 1 м³ семян с коэффициентом изменения объема $k_{об}=2$, получится 2 м³ семян с оболочкой из бентонитовой глины, из которых нужно удалить 345 кг воды.

С учетом того, что камера смешивания дражироватора в среднем вмещает около 0,01 м³ готовых семян с оболочкой [3], в нее будет загружаться 0,005 м³ семян, а после обработки одной партии нужно будет удалить влаги весом: $W=345 \cdot 0,005=1,7$ кг.

Для определения времени сушки семян в дражирователе необходимо произвести анализ тепловых процессов, происходящих в камере смешивания дражироватора [15].

Время сушки семян можно определить из уравнения теплообмена между газом (теплым воздухом) и семенами:

$$Q_{общ} = \alpha \cdot F_H \cdot \Delta T_{cp} \cdot \tau, \quad (5)$$

где $Q_{общ}$ – количество тепла, отдаваемое горячим воздухом семенам, Вт/ч; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² К), F_H – наружная поверхность частиц, м², ΔT_{cp} – средняя разность температур между газом и высушиваемым материалом, К, τ – время сушки семян, ч.

Выразив из уравнения (5) время сушки получим:

$$\tau = \frac{Q_{общ}}{\alpha \cdot F_H \cdot \Delta T_{cp}}. \quad (6)$$

При этом общие затраты тепла в сушилке (кВт/ч) можно определить зависимостью:

$$Q_{общ} = Q_{исп} + Q_M + Q_{пот} \quad (7)$$

где $Q_{исп}$ – количество тепла, затрачиваемое на испарение влаги, кВт·ч

$$Q_{исп} = \left[\frac{W}{3600} \cdot (595 + 0,47 \cdot v_2 - t_1) \right] \cdot 4,19 \quad (8)$$

где v_1 и v_2 начальная и конечная температура газа (воздуха) соответственно 15 °С (288,15К) и 50 °С (323,15К), t_1 и t_2 начальная и конечная температура семян соответственно 15 °С (288,15К) и 30 °С (303,15К);

Q_M – количество тепла, затрачиваемое на нагрев материала, кВт·ч:

$$Q_M = \frac{G_k}{3600} \cdot c_M \cdot (t_2 - t_1) \quad (9)$$

c_M – удельная теплоемкость оболочки, согласно [16] принимаем, 750 Дж/(кг·К);

$Q_{пот}$ – потери тепла в окружающую среду принимаем согласно [15], кВт·ч:

$$Q_{пот} = 0,05 \cdot (Q_{исп} + Q_M). \quad (10)$$

Коэффициент теплоотдачи [17]:

$$\alpha = \frac{Q_{общ}}{F_H \cdot (t_2 - t_1)}, \quad (11)$$

$$F_H = \frac{6 \cdot G_k}{d_э \cdot \rho_T} \quad (12)$$

где G_k – вес частиц, кг; $d_э$ – эквивалентный диаметр частиц, м; ρ_T – плотность оболочки, кг/м³:

$$\Delta T_{cp} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{v_1 + v_2}{2} + \frac{t_1 + t_2}{2} \right) \quad (13)$$

Если принять средний эквивалентный диаметр дражированных семян рапса 2,5 мм, тогда $d_э = 0,0025$ м.

Вес оболочки семян с учетом одной порции в дражирователе:

$$G_k = \rho_{сух} \cdot V_{сух} = 610 \cdot 0,005 \cdot 1,2 = 3,66 \text{ кг.}$$

принимая $d_э = 0,0025$ м, $G_k = 3,66$ кг, $\rho_{сух} = 610$ кг/м³ будем иметь:

$$F_H = \frac{6 \cdot 3,66}{0,0025 \cdot 610} = 14,4 \text{ м}^2$$

Подставляя значения получим:

$$Q_{исп} = \left[\frac{1,7}{3600} \cdot (595 + 0,47 \cdot 323,15 - 288,15) \right] \cdot 4,19 = 3267,5 \text{ кДж/ч} = 0,92 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$\Delta T_{cp} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{288,15 + 323,15}{2} + \frac{288,15 + 303,15}{2} \right) = 300,15 \text{ К}$$

$$Q_m = \frac{3,66}{3600} \cdot 0,75 \cdot (303,15 - 288,15) = 4117,5 \text{ кДж/ч} = 1,14 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

$$Q_{\text{пот}} = 0,05 \cdot (0,92 + 1,14) = 369,25 \text{ кДж/ч} = 0,103 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{общ}} = 0,92 + 1,14 + 0,103 = 2,163 \text{ кВт/ч} = 7786,8 \text{ кДж/ч}$$

$$\alpha = \frac{2163}{14,4 \cdot (303,15 - 288,15)} = 10,01 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)},$$

$$\tau = \frac{2163}{10,01 \cdot 14,4 \cdot 300,15} = 0,05 \text{ ч} = 180 \text{ с.}$$

В результате проделанных расчетов было определено предварительное время сушки одной порции семян рапса с искусственной оболочкой в объеме 0,01 м³, оно составило 180 с.

Заключение

Использование для посева семян рапса с искусственной оболочкой имеет большой потенциал для увеличения урожайности этой культуры и снижения себестоимости возделывания. Искусственную оболочку на семенах можно получить путем обработки их в камере смешивания дражироватора.

В процессе формирования оболочки в дражирователе семена приобретают избыточную влажность до 40 %, которую необходимо снизить до рекомендуемых значений в 8–9 %. Для этого целесообразно использовать конвективную сушку внутри камеры смешивания дражироватора. Проведенные теоретические исследования позволили определить количество испаряемой влаги из семян рапса, после формирования на их поверхности искусственной оболочки из бентонитовой глины. Также было определено предварительное время сушки одной порции семян рапса с искусственной оболочкой в объеме 0,01 м³, при минимально допустимой температуре сушильного агента в 50°, оно составило 180 секунд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петровец, В. Р. Результаты полевых исследований дражированных семян гречихи органическими удобрениями на основе гуминовых кислот с обоснованием конструктивно-технологических параметров центробежного дражирователя с лопастным отражателем / В. Р. Петровец, Д. А. Михеев // *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук*. 2018. – Т. 56. – № 3. – С. 357–365.
2. Михеев, Д. А. Исследование посевных качеств инкрустированных семян рапса, полученных в центробежном дражирователе с лопастным отражателем / Д. А. Михеев, В. Н. Исаченко // *Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад.* – 2020. – № 2. – С. 144–147.
3. Михеев, Д. А. Дражирование семян сахарной свеклы центробежным дражирователем с лопастным отражателем: монография / Д. А. Михеев. под ред. Д. А. Михеева. – Горки. 2017. – 180 с.
4. Особенности хранения семян масличного рапса [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://www.agronom.com.ua/osobennosty-hranenyya-semyan-maslychnogo-rapsa/> – Дата доступа: 10.04.2021.
5. Вибрационная сушилка DF // PETHUS Technologie GmbH [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <http://russian.petkus.de/produkte/-/info/trocknen/fluidized-bed-dryer-df/fluidized-bed-dryer-df>. – Дата доступа: 05.03.2021.
6. Очистка, сушка и хранение семян рапса [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://http://www.raps.pro/sushka.html> – Дата доступа: 10.03.2021.
7. Жидко В. Н. Зерносушение и зерносушилки / В. Н. Жидко, В. А. Резчиков, В. С. Уколов. – М.: Колос, 1982. – 239 с.
8. Ленточная сушилка DB 150 // PETHUS Technologie GmbH [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <http://russian.petkus.de/produkte/-/info/trocknen/bandrockner/bandrockner> – Дата доступа: 05.03.2021.
9. Зерносушилки непрерывного действия // PETHUS Technologie GmbH [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <http://russian.petkus.de/produkte/-/info/trocknen/daecherschachttrockner>. – Дата доступа: 05.03.2021.
10. Шахтные зерносушилки "GreenWay" // ОАО Борисовский завод Металлист [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://polymya.com/ru/catalog/zernosushilki/shakhtnye/bandrockner> – Дата доступа: 05.03.2021.
11. Мобильные зерносушилки Dozamech // «БелДозаМех» [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: <https://dozamech.com/products/zernosushilka/> – Дата доступа: 05.03.2021.
12. Мобильные зерносушилки серии M// ОАО Борисовский завод Металлист [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://polymya.com/ru/catalog/zernosushilki/mobilnye-zernosushilki/mobilnye-serii-m/> – Дата доступа: 05.03.2021.
13. Сушка рапса [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://www.prosushka.ru/1864-sushka-rapsa.html> – Дата доступа: 10.03.2021.
14. Михеев, Д. А. Исследование нанесения сухого порошка на основе бентонитовой глины на поверхность семян сахарной свеклы при дражировании / Д. А. Михеев // *Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад.* – 2018. – № 2. – С. 177–181.
15. Богатов, Б. А. Искусственная сушка горных пород: учеб. пособие / Б. А. Богатов, Г. А. Куптель, А. И. Яцковец; БНТУ – Минск, 2004. – 156 с.
16. Таблицы удельной теплоемкости веществ (газов, жидкостей и др.) // *Справочник по свойствам веществ и материалов* [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/eto-interesno/tablitzy-udelnoj-teploemkosti-veshhestv/> – Дата доступа: 07.03.2021.
17. Петушенко, С. Н. Результаты экспериментальных исследований процессов теплообмена при первичной холодильной обработке зерна мелкосеменных культур / С. Н. Петушенко // *Холодильна техніка і технологія* 2013 – № 3 (143) – С. 64–68.