

УДК 663/635.631.53.04.001

UDC 663/635.631.53.04.001

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

05.20.01 Technologies and means of mechanization of agriculture (technical sciences)

**АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ НАНЕСЕНИЯ НА НАСЫЩЕННЫЕ ВОДОЙ СЕМЕНА ВЛАГОЗОЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ПЕРЕД ПОСЕВОМ В УСЛОВИЯХ АРИДИЗАЦИИ КЛИМАТА**

**ANALYSIS OF THE PROCESSES OF DEPOSITION ON SATURATED WITH WATER SEEDS OF WATERPROOF COATINGS BEFORE SOWING IN THE CONDITIONS OF ARIDIZATION OF THE CLIMATE**

Касьяненко Анна Владимировна  
генеральный директор, экономист  
E-mail: Kasyanenko.anna@gmail.com  
*ЗАО «СКВО» Зерноградского района Ростовской области, г. Ростов-на-Дону, ул. Малугиной, 214/4, 344000*

Kasyanenko Anna Vladimirovna  
General Director, economist  
E-mail: Kasyanenko/Anna@Gmail.com  
*JSC "SKVO", Zernograd district of the Rostov region, Rostov-on-don, Malyuginoy, 214/4, 344000*

Краснов Иван Николаевич  
доктор технических наук, профессор, кафедра технологии и средства механизации агропромышленного комплекса  
E-mail: krasnov1310@rambler.ru  
*Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской государственной аграрной университет, ул. Ленина, 19, г. Зерноград, Ростовская обл., 347740*

Krasnov Ivan Nikolayevich  
Doctor of technical Sciences, Professor, Department of technology and mechanization of agriculture  
E-mail: krasnov1310@rambler.ru  
*Azov-black sea engineering Institute of don state agrarian University, Lenina, 19, Zernograd, the Rostov region, 347740*

Кравченко Иван Андреевич  
кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии и средства механизации агропромышленного комплекса  
E-mail: ivan.kravchenko@mail.ru  
*Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской государственной аграрной университет, ул. Ленина, 19, г. Зерноград, Ростовская обл., 347740*

Kravchenko Ivan Andreevich  
Candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of technology and mechanization of agriculture  
E-mail: [ivan.kravchenko@mail.ru](mailto:ivan.kravchenko@mail.ru),  
*Azov-black sea engineering Institute of don state agrarian University, Lenina, 19, Zernograd, the Rostov region, 347740*

Гапеева Татьяна Владимировна  
аспирант  
[gapeevaskkpl@yandex.ru](mailto:gapeevaskkpl@yandex.ru)  
*Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской государственной аграрной университет, ул. Ленина, 19, г. Зерноград, Ростовская обл., 347740*

Gapeeva Tatyana Vladimirovna  
post-graduate student  
E-mail: gapeevaskkpl@yandex.ru  
*Azov-black sea engineering Institute of don state agrarian University, Lenina, 19, Zernograd, the Rostov region, 347740*

В связи с резким изменением климата и иссушением почвы в осенний период в последние годы обострились проблемные вопросы в части сохранения в первую очередь озимых посевов зерновых культур и повышения их урожайности, хотя в принципе это относится к посеву всех сельскохозяйственных культур из-за аридизации климата практически во всех регионах России. Основным путём их решения представляется совершенствование общепринятой технологии предварительной подготовки семенного материала к посеву с возможностью проведения его в оптимальные

In connection with the sharp climate change and drying up of the soil in the autumn period, problematic issues have become aggravated in recent years in terms of preserving, first of all, winter crops of grain crops and increasing their productivity, although in principle this applies to the sowing of all agricultural crops due to the aridization of the climate almost in all regions of Russia. The main way to solve them seems to be the improvement of the generally accepted technology for the preliminary preparation of seed material for sowing with the possibility of carrying it out at optimal agricultural terms, regardless of soil moisture. The Azov-

агросроки независимо от влажности почвы. В Азово-Черноморском инженерном институте разработан способ предпосевного насыщения семян водой с добавлением на последнем этапе увлажнения растворов используемых протравливающих, а также стимулирующих специальных препаратов. В дальнейшем до посева производится покрытие их влагозащитной микро плёнкой. В настоящей работе изложены для примера результаты анализа усовершенствованных процессов нанесения на поверхность семян пшеницы озимых сортов микро плёночного покрытия путём обработки встречным потоком паров легкоплавкого композита покрытия и его распылением. Опытами в производственных условиях показана возможность посева пшеницы в оптимальные агротехнические сроки и существенного повышения урожая

Ключевые слова: УВЛАЖНЁННЫЕ СЕМЕНА, ПОСЕВ, ИССУШЁННАЯ ПОЧВА, НАСЫЩЕНИЕ ВОДОЙ, ЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ СЕМЕНИ

Chernomorsk Engineering Institute has developed a method for pre-sowing saturation of seeds with water, adding at the last stage of wetting the solutions of used dressings, as well as stimulating special preparations. In the future, before sowing, they are covered with a moisture-protective micro film. In this article, as an example, the results of the analysis of improved processes for applying a micro-film coating to the surface of winter wheat seeds by counter-flow treatment of a low-melting coating composite and its spraying are presented. Experiments under production conditions have shown the possibility of sowing wheat in optimal agrotechnical terms and a significant increase in yield

Keywords: MOISTENED SEEDS, SOWING, DRIED SOIL, WATER SATURATION, PROTECTIVE COATING OF THE SEED

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-184-030>

К настоящему времени наиболее распространена предпосевная подготовка семян сельскохозяйственных культур путём отбора их при сортировке и дальнейшего протравливания [1, 5]. В соответствии с такой технологией семена должны высеваться в почву только при достаточном её увлажнении. В действительности же в период посевной кампании, особенно осенней, из-за существенных изменений в последнее время во всех регионах России климатических условий вынужденно посев осуществляется в весьма иссушённую почву, причём часто вне оптимальных агротехнических сроков. Семена после такого посева при длительном отсутствии осадков задерживаются во всходах, к зиме растения разрежены и ослаблены, из-за чего возможна их гибель и необходимость весеннего пересева.

В ряде хозяйств нашей страны ранее апробирован метод предпосевной обработки семенного материала зерновых культур путём его яровизации, осуществляемой замачиванием семян в воде [2, 4]. Недостатком такого метода является то, что основная часть впитавшейся в семя влаги при

<http://ej.kubagro.ru/2022/10/pdf/30.pdf>

посеве в засушливых условиях впитывается в окружающую их землю, что ослабляет всходы и нередко вызывает их гибель. Несмотря на это описанный метод насыщения семян водой к посеву в настоящее время достаточно широко используется в ряде стран мира в виде, так называемого, прайминга семян [4], который также не устраняет потерь части влаги насыщенным водой семенем в сухую почву после его посева.

По нашим данным для решения возникших вопросов необходимо включение в технологию предпосевной подготовки семенного материала после его увлажнения до насыщения с использованием растворов протравливающих, стимулирующих добавок и микроэлементов в качестве удобрений операции наружного покрытия семян тонким влагозащитным плёночным слоем [2].

Следовательно, *актуальность* настоящей работы вызвана снижением в большинстве зерносеющих регионов России эффективности возделывания озимых зерновых культур из-за резких изменений климата [5].

*Цель исследования* – улучшение условий для прорастания семян после посева в иссушённую почву.

В *задачи наших исследований* вошёл ряд вопросов совершенствования способа и разработки устройств для наружного нанесения на поверхность семян специального микро покрытия, защищающего запасённую в них влагу после посева, а также определения закономерностей, сопровождающих процесс работы предложенных устройств.

*Результаты проведённых исследований.* Защитные плёночные покрытия в современных условиях наносятся на поверхность различных фруктов, овощной продукции, ягод, а также на семенной материал различных огородных и тепличных культур [4]. На рисунке 1 в упрощённом виде представлена классификационная схема используемых в настоящее время методов нанесения таких покрытий, разделённых по способам взаимодействия обрабатываемого продукта с поверхностью материала покрытия: по-

крытия в результате погружении семян в расплавленный материал, после распыления его на семена и после обработки парами такого материала.

Кроме того наносимые на сельхозпродукты покрытия отличаются и по толщине: они могут быть толстыми (несколько миллиметров), микро и нано плёнками. В настоящее время в большей мере распространены микро плёночные покрытия, которые формируются при кратковременном погружении сельскохозяйственных продуктов в расплавленный материал защиты или путём его распыления на семена. Для нано покрытий используются весьма сложные технологии, которые дороги в исполнении.

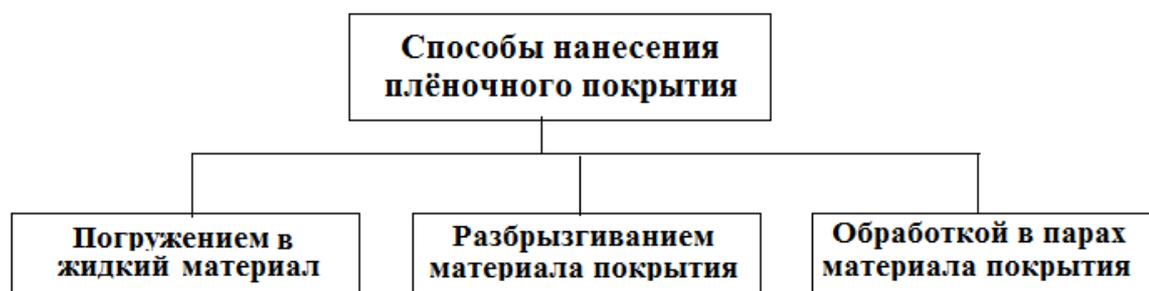


Рисунок 1 – Классификационная схема способов защитного покрытия сельхозпродукции.

По представленной классификации весьма эффективным представляется аппарат для наружных покрытий семян путём обработки их в парах легкоплавкого композита, схема которого дана на рисунке 2.

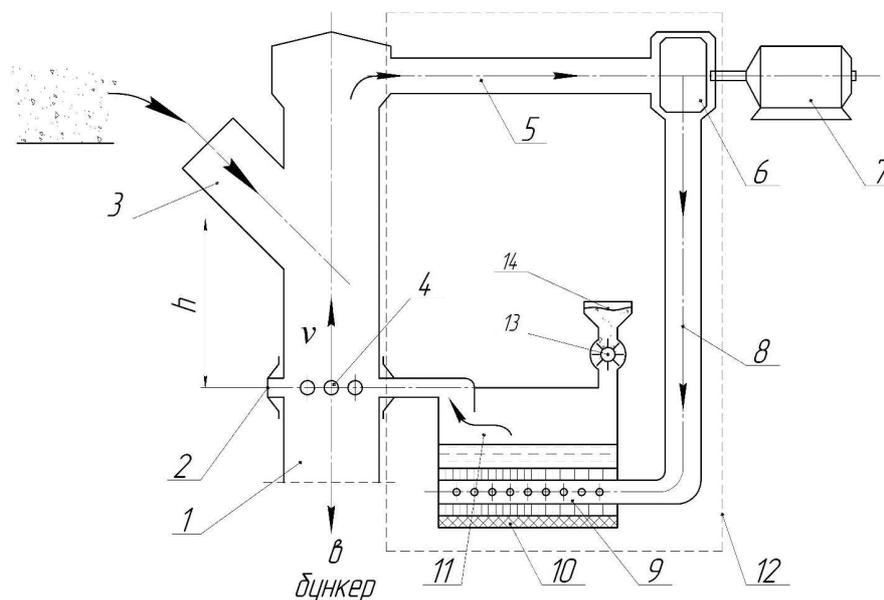


Рисунок 2 – Принципиальная схема устройства для нанесения защитного покрытия на зерновки семян в парах легкоплавкого материала: 1 – корпус зерновой течи; 2 – распылители; 3 – патрубок ввода семян; 4 – отверстия в распылителях; 5 и 8 – воздухопроводы; 6 – вентилятор; 7 – двигатель электрический; 9 – барботер; 10 – электронагреватель; 11 – бачок для плавления материала покрытия; 12 – утеплительная обшивка; 13 – дозатор; 14 – бункер материала покрытия.

Он имеет течку 1, оборудованную патрубком 3 подачи семенного материала после его наружной сушки, бачок 11 для материала покрытия с электронагревателем 10, бункером 14 и дозатором 13. В состав аппарата входят также вентилятор 6, электродвигатель 7 его привода и трубки 5 и 8.

Для работы аппарата сначала включают подачу порции легкоплавкого материала покрытия из бункера 14 с помощью дозатора 13 в бачок 11, затем, включив подогреватель 10, расплавляют его и запускают вентилятор 6 подачи воздуха. В бачке воздух барботирует в жидком материале покрытия (например, парафина) и насыщается его парами.

Далее в патрубок 3 открывают подачу семенного материала, например, пшеницы озимых сортов. Поступающий в корпус течи поток зерновок омывается при падении парами парафина. При конденсации паров на каждом семени образуется тонкое плёночное покрытие, защищающее влагу в нём от потерь в иссушённую почву после посева. Оставшиеся пары материала покрытия с потоком воздуха вентилятором 6 снова подаются в барботер 9 для последующего насыщения их и циркуляции.

Внутри течи семя из-за свободного падения с ускорением  $g$  (рисунок 3) приобретает скорость у распылителей паров, равную:

$$v_3 = gT_1, \quad (1)$$

где  $T_1$  – продолжительность полёта семени с высоты  $h$  по рисунку 3 в  $c$ :

$$T_1 = \sqrt{\frac{2h}{g}}. \quad (2)$$

Общее время падения семени ограничена в принципе длительностью теплового воздействия на зерновку паров материала покрытия: температура нагрева зародыша не должна превышать порог его возможной гибели, составляющий для пшеницы по данным биологов  $55^{\circ}\text{C}$  [1].

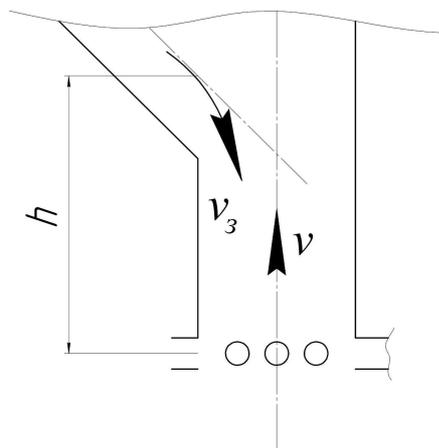


Рисунок 3 – Схема образования потоков семян и паров в течке.

Скорость пара в корпусе течки в исследуемом аппарате находится в прямой зависимости от производительности используемого вентилятора  $Q$  и площади сечения его кожуха

течки  $S$ :

$$v = \frac{Q}{3600 \cdot S}, \text{ м/с.} \quad (3)$$

Передача тепла к семени от пара в течке осуществляется через его оболочку, как это изображено на рисунке 4.

При температуре паров  $t_2 = \Delta t_n + t_{nl}$ , (4)

где  $t_{nl}$  и  $\Delta t_n$  – температура плавления материала для покрытия и дальнейшее повышение температуры пара после этого плавления,  $^{\circ}\text{C}$ , для защиты семени от возможного перегрева зародыша количество поступающего в него тепла должно быть не более:

$$Q \leq Gc(t_2 - t_1), \quad (5)$$

где  $G$  и  $c$  – масса (кг) и теплоёмкость (ккал/кг град) зерновки;

$t_1$  – допустимая в соответствии с агротребованиями температура нагрева в семени зародыша,  $^{\circ}\text{C}$ .

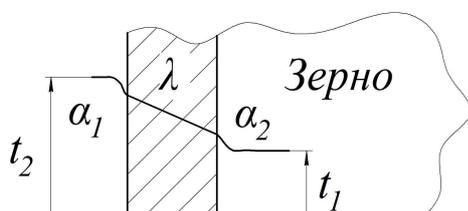


Рисунок 4 – Схемное представление передачи тепла к семени:

$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – коэффициенты процесса передачи тепла соответственно к оболочке зерновки семени от пара и от оболочки к центру ядра;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности среды материала оболочки семени,  $\delta$  – толщина рассматриваемой оболочки

Это тепло поступает через оболочку в семя и может быть определено по выражению:

$$Q = Fk \cdot \Delta t_{cp} \cdot T, \quad (6)$$

где  $F$  и  $T$  – поверхностная площадь зерновки и затраты времени на её нагрев в течке;  $k$  – коэффициент передачи тепла к зерновке,

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (7)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{\tau_{нач} - \tau_{кон}}{\ln \frac{\tau_{нач}}{\tau_{кон}}}, \quad (8)$$

$\tau_{нач}$  и  $\tau_{кон}$  – разности температур пара и в семени в начале и в конце процесса

$$\tau_{нач} = t_n - t ; \tau_{кон} = t_{пл} - t_1.$$

Из равенства (5) и (6) для допустимой продолжительности нагрева зерновки семени в течке получим:

$$T = \frac{Gc(t_2 - t_1)}{Fk\Delta t_{cp}}. \quad (9)$$

Расчётами установлено, что длительность нагрева семени, имеющего условный диаметр  $d_y = 4$  мм, в парах, например, парафина не должна превышать 0,306 с, что предопределяет и высоту падения  $h$  его в зоне течки по нанесению покрытия:

$$h = \frac{T_1^2 \cdot g}{2} = \frac{0,306 \cdot 9,81}{2} = 0,46 \text{ м.}$$

Скорость семени при этом достигает 3 м/с, из-за чего и скорость потока встречных паров покрытия должна быть выше в расчётах по определению производительности вентилятора. По экспериментальным данным расход парафина на защитное покрытие одной тонны семенного материала на предложенном аппарате находится в пределах  $q_{уд} = 20 \dots 25 \text{ г}$ . Тогда расход парафина для обработки семян в расчёте на бункер, имеющий вместимость  $Q_1 = 30 \text{ тонн}$ , составит не больше одного килограмма.

Второй вариант процесса нанесения защитного покрытия на семенной материал методом распыления его представлен на рисунке 5 в виде **решётного стана для предпосевной обработки семян.**

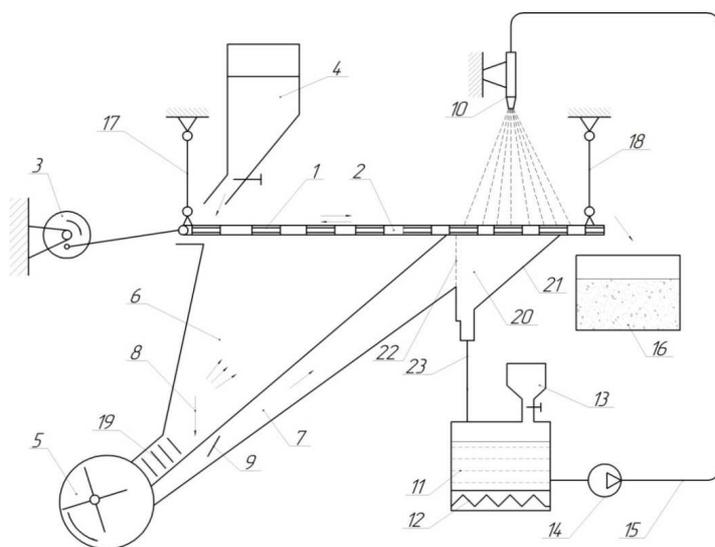


Рисунок 5 – Схема решётчатого стана для обработки насыщенных водой семян.

В нём предусмотрено совмещение технологических операций наружной сушки насыщенных водой семян и

дальнейшего их покрытия защитным слоем от потерь влаги в почву после посева. Для этой цели подрешётчатое пространство стана разделяется перегородками с образованием двух зон каналов воздухопровода. Одна из этих зон начинается в подаче семенного материала на решето стана и служит для предварительной сушки семян потоком подогретого воздуха. Другая, последующая зона служит для производства основной операции по нанесению на семена защитного покрытия с помощью установленных в этой

зоне над решетом распылителей [3], В роли материала покрытия можно использовать легкоплавкие парафин или воск.

Решётный стан (рисунок 5) оборудован решетом 1 с ячейками 2 и имеет привод 3 для колебания решета, бункер 4 подачи семенного материала на колеблющееся решето, вентилятор 5, воздухопровод с каналами 6 и 7 с установленными в них задвижками 8 и 9, распылитель 10 материала покрытия, бачок 11, в котором установлены нагреватель 12 и ёмкость 13 для материала покрытия. В состав решётного стана входят также насос 14 с трубопроводом 15 подачи расплавленного материала покрытия к распылителям 10 и поддон 16 для сбора обработанных семян. Решето 1 имело подвески 17 и 18, а каналами 6 и 7 воздухопровода оно разделялось на зоны *A* и *B* соответственно для обеспечения наружной подсушки семян и нанесения покрытия на них. В канале 6 предусмотрена установка нагревателя 19, а в канале 7 образована специальная полость 20, имеющая наклонную стенку 21 и решетчатую перегородку 22. Пустота 20 трубопроводом 23 сообщается с бачком 11 для стока в нагреватель 12 остатков жидкого материала покрытия.

В процессе работы на решётный стан подавали из бункера 4 увлажнённые семена, которые на участке зоны *A* его решета 1 наружно подсушивались в потоке нагретого воздуха. При этом скорость подаваемого потока воздуха не должна превышать скорость витания обрабатываемых семян. Далее подсушенные семена поступали в зону *B* колеблющегося решета 1. В ней они проходили сквозь факел распыла, покрываясь влагозащитным микро плёночным слоем. В качестве материала покрытия в наших опытах использовался парафин марки П-2. Нанесению защитного покрытия в этой зоне решета способствовали колеблющиеся движения семян с отрывом от поверхности решета, а последующему их охлаждению – непрерывный поток холодного воздуха от вентилятора 5. После обработки семена поступали для сбора и накопления в поддон 16, а остатки жидкого

материала покрытия стекали в полость 20 в канале 7 и по трубопроводу 23 собирались снова в бачок 11. Потоки воздуха в каналах 6 и 7 регулировали при помощи задвижек 8 и 9.

В процессе обработки семян под факелом распыления на поверхности снаружи каждой зерновки также образуется покрытие, толщина которого составляет несколько микрон.

В исследуемом варианте технологии подготовки семян к посеву для подсушки их использован поток тёплого воздуха, скорость влагоудаления  $g_m$  при этом определяется по формуле [4]:

$$g_m = 0,14(1 + 0,72u_g) \cdot (p_c - p_{cp}), \quad (10)$$

где  $p_c$  и  $p_{cp}$  – давление потока паров на семя и окружающего воздуха, Па;  $u_g$  – скорость воздуха, м/с.

Расчётное время (в часах) наружной предварительной сушки семян с массой воды на их поверхности  $W_{nl}$  составит:

$$t_c = \frac{W_{nl}}{g_m}. \quad (11)$$

Последующее нанесение на поверхность семян защитного покрытия производится распылением ожиженного материала покрытия на их поток [3, 5]. Объемный расход его через отверстие жиклера в распылителе будет:

$$Q = S \cdot v, \text{ м}^3/\text{с} \quad (12)$$

где  $v$  – скорость жидкости из жиклера, м/с;  $S$  – площадь отверстия в жиклере, м<sup>2</sup>.

Скорость подаваемых на каждое семя капель распылителем в основном зависит от их размеров и возрастает с увеличением радиуса капли  $R$  на 10 см/с на каждые 10 мкм повышения её радиуса (таблица 1).

Таблица 1 – Зависимость скорости  $v_0$  капли парафина марки П-2 от радиуса  $R$  её (температура плавления парафина 85°C).

$R, \text{ мкм}$	20	40	60	100	200	300	400
$v_0, \text{ см/с}$	3,4	20,4	34,2	75,3	171	264	347

Крупные капли по данным опытов осаждаются на поверхности семени лучше и прочнее закрепляются, чем мелкие капли. Для оценки качества работы используемых распылителей производилось измерение углов факела распыла подаваемого материала покрытия в соответствии со схемой на рисунке 6.

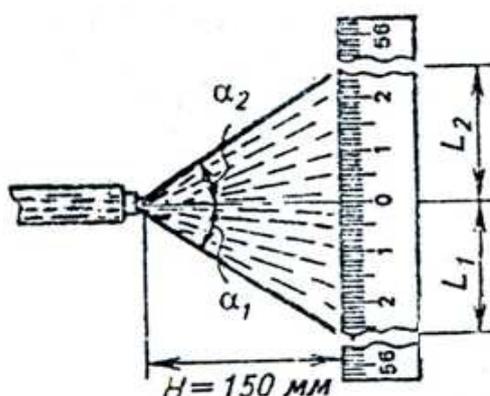


Рисунок 6 – Определение основных параметров факела распыла материала для покрытия семян.

Проверке подлежали угол распыла и симметричность образуемого факела по отношению оси отверстия сопла распылителя. Половинные части углов факела распыла  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  определялись по выражениям:

$$\text{tg } \alpha_1 = \frac{L_1}{H}; \quad \text{tg } \alpha_2 = \frac{L_2}{H}, \quad (13)$$

где  $L_1$  и  $L_2$  – размеры оснований в треугольниках в соответствии с рисунком 6;  $H$  – расстояние от сопла у распылителя до линейки.

Длительность обработки семенного материала путём нанесения на семена защитного покрытия зависит от затрат времени на продвижение семян под воздействием факела распыла на решетке [3]:

$$T = \frac{L_1 + L_2}{v_c}, \text{ с} \quad (14)$$

где  $v_c$  – скорость семян на стане, м/с.

По экспериментальным данным на процесс покрытия тонны семян защитной плёнкой расходуется 40-50 г парафина или 50-60 г воска. Для этого необходим распылитель с соплом диаметром 1,1 мм из пластика и

давление материала покрытия в нём порядка 0,3 МПа. Производительность предложенного решётного стана составляет до 10 т/ч. При этом угол распыла составляет около 45°, а диаметр капель – 70 мкм, что обеспечивает получение покрытия на семени толщиной 50-60 мкм.

**Выводы.** В условиях аридизации климата целесообразна подготовка семян к озимому посеву с использованием предложенной технологии, включающей увлажнение их до насыщения водой с последующим проведением операций наружной сушки и покрытия зерновок семян микро пленкой влагозащитного материала. Нанесение защитной микро плёнки рекомендуется осуществлять во встречном семенам потоке паров легкоплавкого материала или специального композита покрытия или же путём распыления его на решётном стане, расчёт которых рекомендован по предложенным в статье зависимостям.

### Литература

1. Егоров, Ю.В. Оценка устойчивости сельскохозяйственных культур в засушливых условиях агроэкосистем / Кириченко А.В., Егоров Ю.В., Комаров Н.М., Соколенко Н.И., Зайцева Р.И. // В книге: Почвоведение - продовольственной и экологической безопасности страны. Тезисы докладов VII Съезда почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции. Ответственные редакторы: С.А. Шоба, И.Ю. Савин. 2016. С. 398-399.
2. Касьяненко, А.В. Совершенствование технологии подготовки семян зерновых к озимому посеву в условиях аридизации климата / А.В. Касьяненко, И.Н. Краснов // Вестник аграрной науки Дона. – 2017. – № 3. – С. 42–47.
3. Киреев, И.М. Метод и средство моделирования технологического процесса распылителей жидкости / И.М. Киреев, З.М. Коваль, В.Н. Слесарев // Техника и оборудование для села. – М. – 2017. – № 7. – С. 28 – 31.
4. Краснов, И.Н. Подготовка зерна к посеву в засушливых условиях. Монография / И.Н. Краснов, А.В. Касьяненко, И.А. Кравченко, Ю.И. Аришин // Черноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО «Донской ГАУ». – 2021. – 260 с.
5. Якушев, В.П. Роль и задачи точного земледелия в реализации национальной технологической инициативы / В.П. Якушев, В.В. Якушев, Д.А. Матвеев // Агрофизика. – 2017. – № 1. – С. 51-65.

### References

1. Egorov, Yu.V. Ocenka ustojchivosti sel'skohozyajstvennyh kul'tur v zasushlivykh usloviyah agroekosistem / Kirichenko A.V., Egorov Yu.V., Komarov N.M., Sokolenko N.I., Zajceva R.I. // V knige: Pochvovedenie - prodovol'stvennoj i ekologicheskoj bezopasnosti strany. Tezisy dokladov VII S"ezda pochvovedov im. V.V. Dokuchaeva i Vserossijskoj s

mezhdunarodnym uchastiem nauchnoj konferencii. Otvetstvennye redaktory: S.A. Shoba, I.Yu. Savin. 2016. S. 398-399.

2. Kas'yanenko, A.V. Sovershenstvovanie tekhnologii podgotovki semyan zernovyh k ozimomu posevu v usloviyah aridizacii klimata / A.V. Kas'yanenko, I.N. Krasnov // Vestnik agrarnoj nauki Dona. – 2017. – № 3. – S. 42–47.

3. Kireev, I.M. Metod i sredstvo modelirovaniya tekhnologicheskogo processa raspylitelej zhidkosti / I.M. Kireev, Z.M. Koval', V.N. Slesarev // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. – M. – 2017. – №. 7. – S. 28 – 31.

4. Krasnov, I.N. Podgotovka zerna k posevu v zasushlivyh usloviyah. Monogra-fiya / I.N. Krasnov, A.V. Kas'yanenko, I.A. Kravchenko, Yu.I. Arishin // Zernograd: Azo-vo-Chernomorskij inzhenernyj institut FGBOU VO «Donskoj GAU». – 2021. – 260 s.

5. Yakushev, V.P. Rol' i zadachi tochnogo zemledeliya v realizacii nacional'noj tekhnologicheskoy iniciativy / V.P. Yakushev, V.V. Yakushev, D.A. Matveenko // Agrofizika. – 2017. – № 1. – S. 51-65.