

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЛУЧАЙНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ И КАПЕЛЬ СУСПЕНЗИИ В КАМЕРЕ ОБРАБОТКИ СЕМЯН БИОПРЕПАРАТАМИ

Сабиров Раис Фаритович, старший преподаватель кафедры «Эксплуатация и ремонт машин»

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»
420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 65; тел.: 8(843)567-45-00;
e-mail: agromehnika116@gmail.com

Ключевые слова: пневмомеханический протравливатель, биопрепарат, микроорганизмы, псевдооживление, витание семян, защита растений.

В статье рассмотрен новый пневмомеханический протравливатель семян, адаптированный для работы с биологическими препаратами, основными узлами которого являются камера протравливания и распылитель рабочего состава. Описана конструкция и принцип работы камеры протравливания, распылителя рабочего состава биопрепарата, гидравлической и пневматической систем устройства. Широкий диапазон регулировки давления распыления, а также щадящий пневматический способ нанесения рабочего препарата на семена позволяют использовать биологические препараты для проведения работ по подготовке семян к посеву. Приведены исследования по определению равномерности распределения капель жидкости на семенах при первичном контакте в зависимости от угла установки форсунки, степени заполнения камеры обработки и её геометрических параметров. Обоснована вероятность поглощения капли зерновкой с учетом того, что капля по размеру существенно меньше семени. Предложен алгоритм численного расчета количества смоченных семян, а также вариационного ряда распределения (полигона частот), среднего значения, среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации капель на зерновке. По изложенному алгоритму на языке C# в среде VisualStudio разработано приложение для Windows - программа, реализующая численный эксперимент и его статистическую обработку. Определены рациональный угол установки форсунки $\gamma = 0^\circ$ и высота псевдооживленного слоя $h_{z1} = 0,07$ м.

Введение

Отечественный и мировой опыт показывает, что применение техники для защиты растений обеспечивает 50...70 % прироста урожая. Повышение производительности этой техники и экономия дорогостоящих препаратов при малообъемном адаптированном внесении средств защиты растений позволяют не только увеличить объем выращиваемой сельскохозяйственной продукции, но и значительно сократить затраты и загрязнение окружающей среды [1, 2, 3, 4].

В условиях острого дефицита средств механизации для защиты растений в регионах Российской Федерации идут спонтанные процессы роста производства и модернизации существующей техники [3, 5, 6].

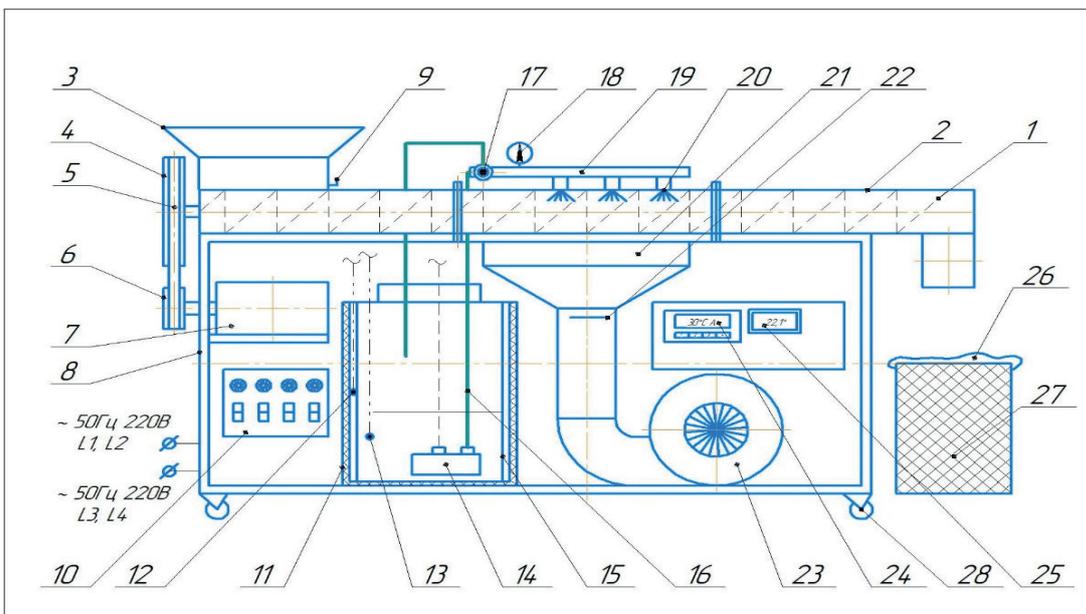
Этот, казалось бы, положительный фактор промышленного роста на практике приводит к отрицательным результатам. Разработка и производство новой техники для защиты растений в регионах России зачастую осуществляется без учета современных достижений отечественной и зарубежной науки, требований государственных и отраслевых стандартов, технологических

и экологических требований. При росте номенклатуры технических средств в регионах появляется множество однотипных конструкций. При этом в условиях жесткой конкуренции идет борьба не за качество и высокий технический и технологический уровень машин для защиты растений, а за уменьшение цены путем использования комплектующих низкого качества и недопустимого упрощения конструкции в ущерб требованиям экологической безопасности и безопасности труда.

Также остро стоит вопрос снижения химической нагрузки на растениеводство в целом и постепенный переход на биологизацию производства продукции растениеводства [7, 8, 9].

Значительное влияние физико-механических характеристик рабочих процессов машин для защиты растений на динамику численности полезных микроорганизмов биопрепаратов ставит перед нами цель разработать технологию и технические средства для обработки семян защитно-стимулирующими препаратами биологического типа.

До настоящего времени в нашей стране проведено недостаточно исследований по раз-



1 – шнек; 2 – корпус шнека (3 части); 3 – загрузочный лоток; 4 – шкив шнека; 5 – ремень; 6 – шкив электродвигателя; 7 – электродвигатель; 8 – рама; 9 – заслонка регулировки подачи семян; 10 – блок управления; 11 – нагревательный элемент. 12 – датчик температуры нагревательного элемента; 13 – датчик температуры жидкости; 14 – насос мембранный; 15 – бак рабочей жидкости; 16 – трубопровод; 17 – регулятор давления жидкости; 18 – манометр; 19 – труба; 20 – форсунка с распылителем; 21 – кожух для подачи воздуха; 22 – заслонка регулировки подачи воздуха; 23 – вентилятор; 24 – регулятор температуры; 25 – указатель температуры жидкости; 26 – мешок; 27 – корзина для мешка; 28 – колесо

Рис.1 – Схема экспериментального образца устройства для обработки семян биопрепаратами

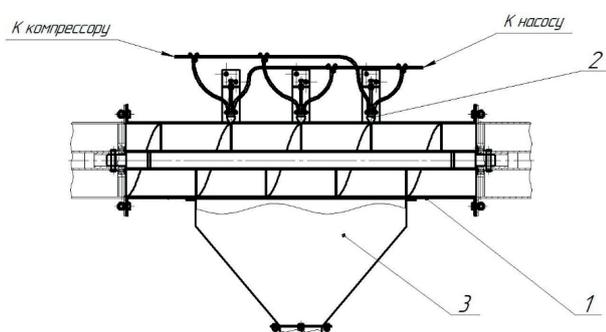


Рис. 2 – Схема камеры обработки семян
1 – камера протравливания; 2 – распылитель; 3 – диффузор

работке рациональной технологии нанесения биологических препаратов на поверхность семян с целью повышения их всхожести и урожайности.

Анализ используемых для защиты растений технических средств и литературных источников показал, что специально разработанных для работы с биопрепаратами машин крайне мало. Поэтому в настоящее время актуальными являются исследования, направленные на совершенствование технических средств для защиты растений, приспособленных к работе с

биологическими препаратами, учитывающими их особенности и обеспечивающих высокую эффективность их применения [4, 10, 11, 12, 13, 14].

Целью данного исследования является определение равномерности распределения капель рабочего состава биопрепарата по семенам при первичном контакте в зависимости от угла установки форсунки, степени заполнения камеры обработки и её геометрических параметров.

Материалы и методы исследований

На основе вышеизложенного нами разработано техническое средство (рис. 1) для предпосевной обработки поверхности семян сельскохозяйственных культур биологическими препаратами [15, 16]. Основными рабочими органами разработанного устройства являются камера обработки (рис. 2) и распылитель рабочего состава биопрепарата, которые должны обеспечивать:

- снижение энергоёмкости процесса предпосевной подготовки семян;
- полноту и равномерность протравливания семян;
- повышение эффективности применения

биологических препаратов за счет снижения негативного влияния различных физико-механических факторов на жизнеспособность микроорганизмов.

Принцип работы разработанной установки для нанесения биологических препаратов заключается в следующем (рис. 2). Семенной материал подается шнеком в камеру обработки 1, где на него действует воздушный поток через диффузор 3, давление которого регулируется для достижения семенами скорости витания. Тем самым создается псевдооживленный поток семян, навстречу которому распыляется рабочая жидкость распылителями 2. Рабочий состав в распылители 2 подается из бака рабочей жидкости под давлением, создаваемым насосом. В результате происходит нанесение распыленного препарата на семена. Принцип работы распылителя 2, который обеспечивает снижение негативного влияния различных физико-механических факторов на жизнеспособность микроорганизмов, приведен в [17, 18].

Результаты исследований

Взаимодействие капель суспензии и твердых частиц можно разделить на этапы:

- первичный контакт – это столкновение потока капель с частицами, распределенными в псевдооживленном слое, которые в данный момент времени находятся под факелом форсунки;
- вторичное смачивание частиц – при перемешивании в процессе кипения псевдооживленного слоя и при перемещении шнеком к выгрузному патрубку.

Построим модель случайного взаимодействия капель и частиц, полагая равномерную пористость псевдооживленного слоя в камере обработки и нормальное Гауссово распределение капель жидкости в поперечном сечении факела форсунки.

Высоту объема, занимаемого частицами в камере h_{z1} , выберем в качестве одного из варьируемых факторов. Её связь со скоростью воздушного потока является отдельной задачей и подлежит экспериментальному уточнению.

Степень заполнения шнека Δ_{sh} также выберем в качестве варьируемого фактора. Ее определяет количество частиц в камере обработки, так как:

$$\Delta_{sh} = \frac{V_n}{V}, \quad (1)$$

где V_n - объем слоя частиц при отсутствии воздушного потока, m^3 , где $V = \pi R^2 L$ - объем камеры обработки, m^3 , R - радиус камеры, m ,

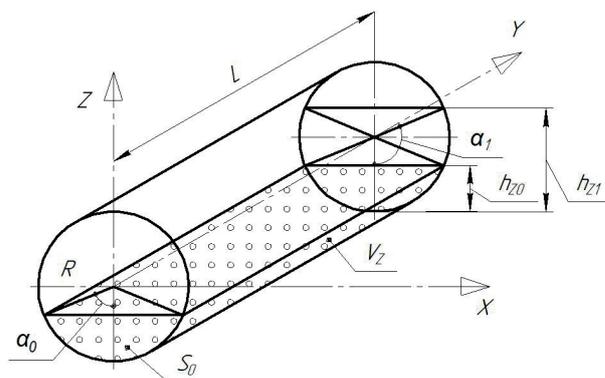


Рис. 3 – Схема заполнения камеры обработки семенами

L – длина камеры, m , (рис. 3).

После несложных, но достаточно громоздких вычислений получим объем семян в камере обработки:

$$V = LR^2(\alpha_1 - \sin \alpha_1 \cos \alpha_1), \quad (2)$$

где α_1 – половина центрального угла, определяющего высоту «кипящего» слоя семян h_{z1} в камере.

Разобьем объем V , m^3 , по высоте h_{z1} , m , на слои толщиной в один эквивалентный диаметр семени d .

Форсунка для распыления жидкости установлена в верхней части камеры обработки под углом γ к вертикали. Угол γ , град., является фактором для совместного исследования вместе со степенью заполнения шнека Δ_{sh} и высотой псевдооживленного слоя h_{z1} , m . Прочие параметры форсунки (угол раскрытия факела и расположение по горизонтальной оси камеры) устанавливаем на значениях, обеспечивающих ширину горизонтального сечения конуса факела плоскостью (x, y) , равную $2R$ (малая ось эллипса), а длину - в пределах длины камеры обработки L .

Все капли факела форсунки распределены по нормальному закону в двух направлениях: по осям x_3 и y_3 (рис. 4) с одинаковой дисперсией. Ось z_3 является осью форсунки и отклонена от вертикали на угол γ . Угол β_1 , который соответствует максимальному отклонению капель от оси форсунки z_3 , определяется из условия попадания всех капель в эллипс с малой полуосью R на плоскости (x, y) .

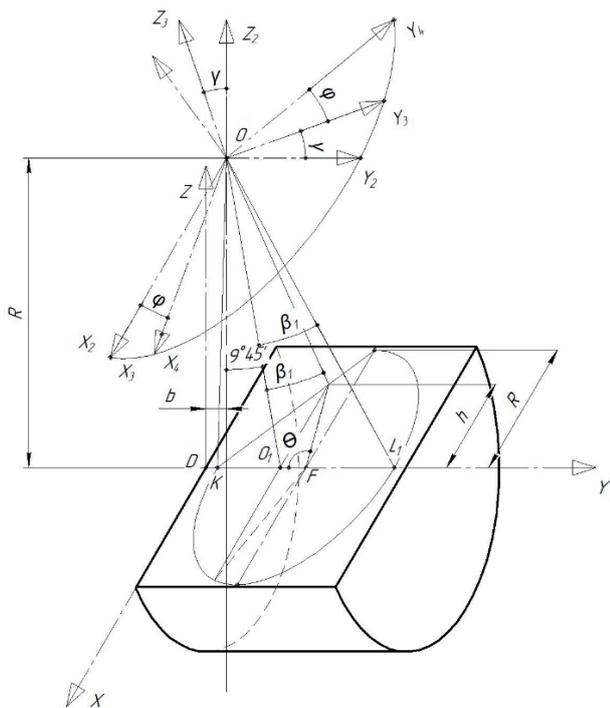


Рис. 4 – Схема установки форсунки

Уравнение траектории капли можно представить в виде:

$$\frac{x}{x_2} = \frac{y-b}{y_2} = \frac{z-R}{z_2}, \quad (3)$$

где x, y, z и x_2, y_2, z_2 – соответственно координаты капли в системе координат (x, y, z) , связанной с осью шнека и в системе (x_2, y_2, z_2) ; b - смещение форсунки по оси y , обеспечивающее нахождение сечения факела форсунки плоскостью (x, y) внутри камеры обработки.

Определим расстояние от траектории капли до центра семени $|H_1M|$ (рис. 5). Направляющий единичный вектор траектории капли \vec{q} имеет проекции на оси координат (x_2, y_2, z_2) , определяемые соотношениями (3) ($|\vec{q}| = 1$). Произвольная точка M , в которой находится центр семени, имеет координаты $M(x, y - b, z - R)$.

Для вероятного поглощения капли семенем, с учетом того, что капля существенно меньше семени, необходимо выполнение условия $|H_1M| < 0,5d$. (4)

Кроме данного условия, требуется, чтобы капля не была поглощена ранее другими частицами. Для проверки условия (4) организуем двойной цикл – внешний - по всем каплям, а внутренний - по семенам, начиная с верхних слоев. Если для очередной частицы выполняется условие (4), то капля суммируется в ячейку

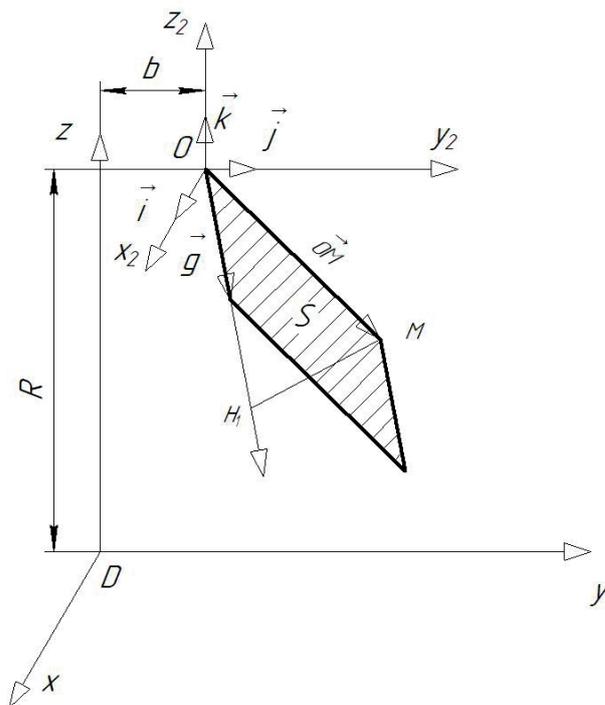


Рис. 5 – К определению расстояния от траектории капли до семени

массива данной частицы, и происходит выход из внутреннего цикла, чтобы для других частиц условие не проверялось.

В результате численного эксперимента получаем массив A из ячеек A_i , размером по числу зерен в камере $i = 1 \dots n$, содержимое каждой ячейки которого равно числу капель на каждом семени после распределения $(n_k \cdot N_{step})$ капель.

Обсуждение

По изложенному алгоритму на языке C# в среде VisualStudio разработано приложение для Windows - программа, реализующая численный эксперимент и его статистическую обработку.

В таблице 1 представлен результат численного эксперимента взаимодействия 179734 семян на 1000 шагах по оси y с 1000 каплями на каждом из них. Для определения зависимости количества смоченных зерен от угла установки форсунки и высоты слоя зерна примем степень заполнения камеры обработки семенным материалом $\Delta_{sh} = 0,4$.

Зависимость количества смоченных зерен от угла установки форсунки γ и высоты слоя зерна h_{z1} представлена на рисунке 6.

Вертикальная установка форсунки с углом γ от 0° до 10° позволяет получить максимальное количество смоченных частиц - от 6675 шт. до 6734 шт. Отклонение от этих углов, как и уменьшение высоты псевдооживленного слоя семян

Таблица 1

Количество смоченных зерен в зависимости от угла установки форсунки и высоты слоя зерна

Высота слоя семян h_{z1} , м	Угол γ , град.									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0,05	6384	6294	6347	6292	6144	6021	5695	5266	4089	887
0,06	6525	6618	6504	6375	6349	6166	5855	5259	4138	899
0,07	6621	6649	6605	6494	6302	6194	5872	5257	4074	964
0,08	6734	6705	6675	6457	6204	6080	5760	5029	3825	954
0,09	6649	6529	6493	6418	6226	5911	5576	4975	3643	984
0,1	6506	6417	6353	6111	6067	5707	5295	4618	3297	936
0,11	6207	6161	6098	5901	5725	5435	4939	4274	3137	851
0,12	5993	5958	5920	5721	5526	5151	4676	4019	2804	837
0,13	5640	5573	5513	5341	5082	4762	4324	3505	2489	818
0,14	5164	5167	5019	4857	4580	4298	3778	3127	2117	703
0,15	4795	4796	4694	4586	4255	3909	3459	2783	1890	671

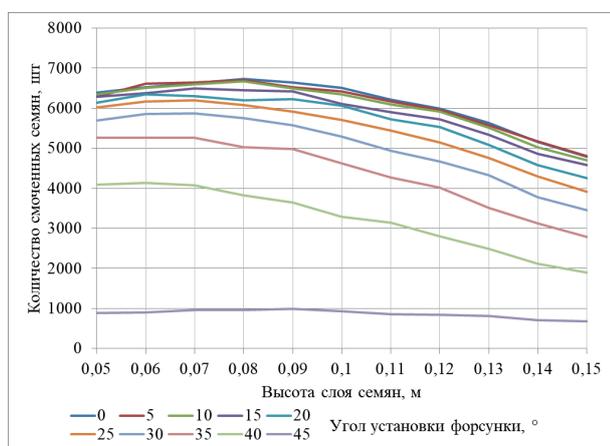


Рис. 6 – Зависимости количества смоченных зерен от угла установки форсунки и высоты слоя зерна

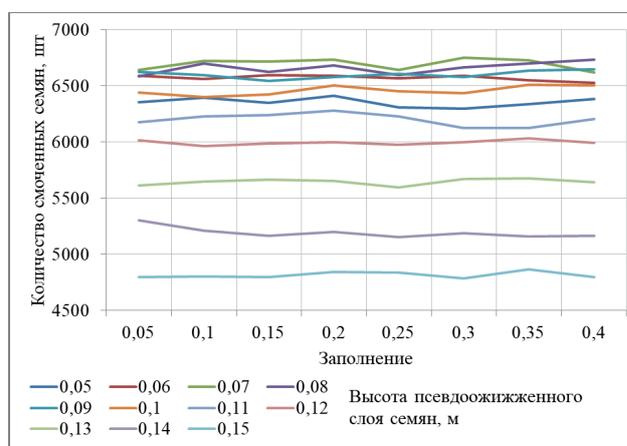
Рис. 7 – Зависимость количества смоченных зерен от высоты слоя зерна h_{z1} и степени заполнения камеры обработки семенным материалом D_{sh}

Таблица 2

Количество смоченных зерен в зависимости от высоты слоя зерна и степени заполнения камеры обработки семенным материалом

Высота слоя зерна h_{z1}	Степень заполнения камеры Δ_{sh}							
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
0,05	6356	6395	6346	6409	6308	6299	6339	6384
0,06	6588	6559	6596	6589	6568	6591	6549	6525
0,07	6641	6720	6715	6735	6642	6751	6727	6621
0,08	6582	6700	6622	6680	6595	6666	6698	6734
0,09	6624	6595	6541	6578	6607	6577	6638	6649
0,1	6442	6401	6425	6503	6450	6434	6510	6506
0,11	6176	6227	6238	6282	6229	6126	6122	6207
0,12	6013	5963	5987	5999	5978	5997	6032	5993
0,13	5615	5646	5666	5654	5594	5673	5674	5640
0,14	5306	5214	5165	5197	5154	5187	5162	5164
0,15	4799	4806	4800	4844	4837	4784	4869	4795

h_{z1} приводит к значительному снижению количества смоченных зерен.

Для расчета количества смоченных зерен в зависимости от высоты слоя зерна h_{z1} и степе-

ни заполнения D_{sh} камеры обработки семенным материалом прием угол установки форсунки в камере обработки $\gamma = 0^\circ$. Результаты численных расчетов представлены в таблице 2.

Зависимость количества смоченных зерен от высоты слоя зерна h_{z1} и степени заполнения D_{sh} камеры обработки семенным материалом представлена на рисунке 7.

Снижение высоты псевдооживленного слоя семян h_{z1} до 0,07 м приводит значительному увеличению количества смоченных зерен до 6751 вследствие увеличения площади контакта распыленного рабочего раствора биопрепарата. Степень заполнения D_{sh} камеры обработки семенным материалом незначительно влияет на процесс смачивания.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что основное влияние на смачивание зерен оказывают угол установки форсунки γ и высота псевдооживленного слоя h_{z1} , м.

Заключение

1. Равномерность распределения капель жидкости по семенам при первичном контакте зависит от пористости псевдооживленного слоя, угла установки форсунки, степени заполнения камеры обработки и её геометрических параметров.

2. Разработанная программа для ЭВМ, реализующая численный эксперимент и его статистическую обработку, позволяет на основе предложенного алгоритма рассчитать количество смоченных семян, вариационный ряд распределения (полигон частот), среднее значение, среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации капель на зерновке.

3. Качественная обработка семян биопрепаратом обеспечивается при рациональных значениях следующих параметров: угол установки форсунки $\gamma = 0^\circ$; высота псевдооживленного слоя $h_{z1} = 0,07$ м.

Библиографический список

1. Нежметдинова, Ф. Т. Экологическая безопасность и гуманитарная экспертиза рисков внедрения современных биотехнологий в контексте формирования биоэкономики / Ф. Т. Нежметдинова, А. Р. Валиев // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: настоящее и будущее : материалы III Международной научно-практической конференции. – Казань : ГБУ Научный центр безопасности жизнедеятельности, 2014. – Ч. II. – С. 802-809.

2. Безопасность продуктов питания в условиях ВТО / Д. И. Файзрахманов, Ф. Т. Нежметдинова, Б. Г. Зиганшин, А. Р. Валиев // Сельский механизатор. – 2013. - № 11. – С. 4-6.

3. Современное состояние зернового производства в Российской Федерации / Д. И.

Файзрахманов, А. Р. Валиев, Б. Г. Зиганшин [и др.] // Вестник Казанского ГАУ. – 2021. – Т. 16, № 2(62). – С. 138-142.

4. Продуктивность сельскохозяйственных культур при применении биопрепаратов на основе ризосферных бактерий (PGPR) / Л. З. Каримова, Л. С. Нижегородцева, В. А. Колесар [и др.] // Вестник Казанского ГАУ. – 2019. – Т. 14, № S4-1(55). – С. 52-58.

5. Сабиров, Р. Ф. Технические средства для обработки поверхности семян и их протравливания перед посевом средствами защиты растений / Р. Ф. Сабиров, А. Р. Валиев, Н. И. Семушкин // Агроинженерная наука XXI века : научные труды региональной научно-практической конференции, Казань, 18 января 2018 года. – Казань : Казанский ГАУ, 2018. – С. 201-204.

6. Теория распыливания жидкости форсунками / Б. Л. Иванов, Б. Г. Зиганшин, Р. Ф. Шарфеев, И. Р. Сагбиев // Вестник Казанского ГАУ. – 2019. – Т. 14, № 2(53). – С. 95-99.

7. Приемы повышения эффективности применения биологических препаратов в растениеводстве / Г. Н. Агиева, Л. С. Нижегородцева, Р. Ж. К. Диабанкана [и др.] // Вестник Казанского ГАУ. – 2020. – Т. 15, № 4(60). – С. 5-9.

8. Influence of physical factors on viability of microorganisms for plant protection / R. Sabirov, A. R. Valiev, L. Karimova [et al.] // Engineering for Rural Development, Jelgava, 22–24 мая 2019 года. – Jelgava, 2019. – P. 555-562.

9. Особенности движения зерна по спиральному диску сушилки / В. И. Курдюмов, Ю. М. Исаев, А. А. Павлушин [и др.] // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. - № 1(45). – С. 12-17.

10. Теоретические исследования процесса дозирования сыпучего материала / Н. М. Семашкин, Ю. М. Исаев, Н. П. Крючин [и др.] // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. - № 1(45). – С. 6-11.11. Влияние давления при опрыскивании растений микробиологическими препаратами на сохранение жизнеспособности микроорганизмов и их численность / В. В. Котляров, Н. В. Сединина, Д. Ю. Донченко, Д. В. Котляров // Научный журнал КубГАУ. - 2016. - № 115(01). – С. 1219-1232.

12. Calegari, F. Economic and environmental benefits of using a spray control system for the distribution of pesticides / F. Calegari, D. Tassi, M. Vincini // Journal of Agricultural Engineering. – 2013. - Vol. 44(2s). - P. 163-165.

13. WenJun, Z. Global pesticide consumption

and pollution: with China as a focus / Z. WenJun, J. FuBin, O. JianFeng // Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences. – 2011. - 1(2). - P. 125-144.

14. Pergher, G. Influence of canopy development in the vine-yard on spray deposition from a tunnel sprayer / G. Pergher, N. Zucchiatti // Journal of Agricultural Engineering. – 2018. - Vol. 49(3). - P. 164-173.

15. Патент № 183231 U1 Российская Федерация, МПК А01С 1/06. Пневмомеханический протравливатель, адаптированный для работы с биопрепаратами: № 2018111370 : заявл. 29.03.2018 : опубл. 14.09.2018 / Сабиров Р. Ф., Валиев А. Р., Сафин Р. И. [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО Казанский ГАУ.

16. Патент № 2675302 С1 Российская Фе-

дерация, МПК А01С 1/00. Модульный пневмомеханический протравливатель семян : № 2018111383 : заявл. 29.03.2018: опубл. 18.12.2018 / Сабиров Р. Ф., Валиев А. Р., Сафин Р. И. [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО Казанский ГАУ

17. Патент № 181323 U1 Российская Федерация, МПК В05В 1/34, В05В 7/10. Форсунка для распыления рабочего состава биопрепарата : № 2018113240 : заявл. 11.04.2018 : опубл. 10.07.2018 / Сабиров Р. Ф., Валиев А. Р., Сафин Р. И. [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО Казанский ГАУ.

18. Патент № 2681640 С1 Российская Федерация, МПК В05В 7/10. Распылитель рабочего состава биопрепарата : № 2018113215 : заявл. 11.04.2018 : опубл. 11.03.2019 / Сабиров Р. Ф., Валиев А. Р., Сафин Р. И. [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО Казанский ГАУ.

SPECIFICATION OF PARAMETERS OF RANDOM INTERACTION OF SOLID PARTICLES AND SUSPENSION DROPS IN A CHAMBER FOR SEED PROCESSING WITH BIOLOGICAL PRODUCTS

Sabirov R. F.

FSBEI HE “Kazan State Agrarian University”
420015, Kazan, Karl Marx st., 65; tel.: 8(843)567-45-00;
e-mail: agromehnika116@gmail.com

Key words: pneumomechanical treating machine, biological product, microorganisms, fluidization, seed soaring, plant protection.

The article observes a new pneumomechanical seed treating machine, adapted to work with biological products, the main components of which are the treatment chamber and the sprayer of working composition. The design and operation principle of the treatment chamber, the sprayer of the working composition of the biological product, the hydraulic and pneumatic systems of the device are described. A wide range of spraying pressure adjustment, as well as a gentle pneumatic method of applying the working preparation onto seeds allows the use of biological products for preparing seeds for sowing. Theoretical studies are given to determine the distribution uniformity of liquid droplets on seeds at first contact, depending on the porosity of the fluidized bed, the angle of the nozzle, the infill degree of the treatment chamber and its geometric parameters. The probability of a drop absorption by a caryopsis is substantiated, taking into account the fact that the drop is much smaller in size than the seed. An algorithm for numerical computation of wetted seeds is proposed, as well as variational distribution range (frequency polygon), average value, mean-square deviation and variation coefficient of drops on a caryopsis. According to the above algorithm, an application for Windows was developed in the C# language and in VisualStudio environment – a program that implements a numerical experiment and its statistical processing. Appropriate nozzle installation angle $\nu=0^\circ$ and the height of the fluidized bed $h_{z1}=0.07$ m were determined.

Bibliography:

1. Nezhmetdinova, F. T. Ecological safety and humanitarian expertise of the risks of introducing modern biotechnologies in the context of bioeconomy formation / F. T. Nezhmetdinova, A. R. Valiev // Current problems of life safety: present and future: materials of the III International scientific and practical conference. - Kazan: SBI Scientific Center of Life Safety, 2014. - Part II. - P. 802-809.
2. Safety of food products under WTO conditions / D. I. Fayzrakhmanov, F. T. Nezhmetdinova, B. G. Ziganshin, A. R. Valiev / Farm machinery operator. - 2013. - No. 11. - P. 4-6.
3. Current state of grain production in the Russian Federation / D. I. Fayzrakhmanov, A. R. Valiev, B. G. Ziganshin [and others] // Vestnik of Kazan State Agrarian University. - 2021. - V. 16, No. 2 (62). - P. 138-142.
4. Productivity of agricultural crops in case of application of biopreparations based on rhizosphere bacteria / L. Z. Karimova, L. S. Nizhegorodtseva, V. A. Kolesar [et al.] // Vestnik of Kazan State Agrarian University. - 2019. - V. 14, No. S4-1 (55). - P. 52-58.
5. Sabirov, R. F. Technical means for treating the surface of seeds and their dressing with plant protection products before sowing / R. F. Sabirov, A. R. Valiev, N. I. Semushkin // Agroengineering science of the XXI century: scientific works of the regional scientific- practical conference, Kazan, January 18, 2018. - Kazan: Kazan State Agrarian University, 2018. - P. 201-204.
6. The theory of liquid atomization by nozzles / B. L. Ivanov, B. G. Ziganshin, R. F. Sharafiev, I. R. Sagbiev // Vestnik of Kazan State Agrarian University. - 2019. - V. 14, No. 2 (53). - P. 95-99.
7. Methods of efficiency increase of application of biological products in crop production / G. N. Agieva, L. S. Nizhegorodtseva, R. Zh. K. Diabankana [et al.] // Vestnik of Kazan State Agrarian University. - 2020. - V. 15, No. 4 (60). - P. 5-9.
8. Influence of physical factors on viability of microorganisms for plant protection / R. Sabirov, A. R. Valiev, L. Karimova [et al.] // Engineering for Rural Development, Jelgava, May 22–24, 2019. - Jelgava, 2019. - P. 555-562.
9. Features of grain movement along the spiral disc of the dryer / V. I. Kurdyumov, Yu. M. Isaev, A. A. Pavlushin [et al.] // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2019. - No. 1 (45). - P. 12-17.
10. Theoretical studies of the dosing process of bulk material / N. M. Semashkin, Yu. M. Isaev, N. P. Kryuchin [et al.] // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2019. - No. 1 (45). - P. 6-11.
11. Influence of pressure when spraying plants with microbiological products on viability of microorganisms and their number / V. V. Kotlyarov, N. V. Sedina, D. Yu. Donchenko, D. V. Kotlyarov // Scientific journal of KubSAU. - 2016. - No. 115(01). - P. 1219-1232.
12. Calegari, F. Economic and environmental benefits of using a spray control system for the distribution of pesticides / F. Calegari, D. Tassi, M. Vincini // Journal of Agricultural Engineering. – 2013. - Vol. 44(2s). - P. 163-165.
13. WenJun, Z. Global pesticide consumption and pollution: with China as a focus / Z. WenJun, J. FuBin, O. JianFeng // Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences. – 2011. - 1(2). - P. 125-144.
14. Pergher, G. Influence of canopy development in the vine-yard on spray deposition from a tunnel sprayer / G. Pergher, N. Zucchiatti // Journal of

Agricultural Engineering. – 2018. - Vol. 49(3). - P. 164-173.

15. Patent No. 183231 U1 Russian Federation, IPC A01C 1/06. Pneumatic treating machine adapted to work with biological products : No. 2018111370 : Appl. 29.03.2018: publ. 14.09.2018 Sabirov R. F., Valiev A. R., Safin R. I. [and others]; applicant FSBEI HE Kazan State Agrarian University.

16. Patent No. 2675302 C1 Russian Federation, IPC A01C 1/00. Modular pneumomechanical seed treating machine : No. 2018111383 : Appl. 29.03.2018: publ. 18.12.2018 / Sabirov R. F., Valiev A. R., Safin R. I. [and others]; applicant FSBEI HE Kazan State Agrarian University.

17. Patent No. 181323 U1 Russian Federation, IPC B05B 1/34, B05B 7/10. Nozzle for spraying the working composition of the biological product: No. 2018113240: Appl. 11.04.2018: publ. 10.07.2018 / Sabirov R. F., Valiev A. R., Safin R. I. [and others]; applicant FSBEI HE Kazan State Agrarian University.

18. Patent No. 2681640 C1 Russian Federation, IPC B05B 7/10. Atomizer of the working composition of the biological product: No. 2018113215: Appl. 11.04.2018: publ. 11.03.2019 / Sabirov R. F., Valiev A. R., Safin R. I. [and others]; applicant FSBEI HE Kazan State Agrarian University