ИНЖЕНЕРНЫЕ АГРОПРОМЫШЛЕННЫЕ НАУКИ

DOI: 10.35523/2307-5872-2023-42-1-67-74
УДК 631.3

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯЧМЕНЯ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Волхонов М.С., ФГБОУ ВО Костромская ГСХА;
Беляков М.М., ФГБОУ ВО Костромская ГСХА;
Зимин И.Б., ФГБОУ ВО Великолукская ГСХА

Повысить урожайность зерновых культур на 35-40 % возможно активацией жизнедеятельности семян перед посевом. Разработан способ предпосевной ультразвуковой обработки семян, предусматривающий обработку семян ультразвуковыми колебаниями в ванне с водой с частотой ультразвуковых колебаний от 20 - 60 кГц, мощностью излучения до 240 Вт в течение 30...180 секунд с последующей подсушкой при подготовке семян для высева в поле. Определены режимы ультразвуковой обработки, при которых увеличение длины ростков у семян на 7 сутки лабораторного проращивания наибольшее. Первый режим – обработка семян ультразвуком частотой 60 кГц, с мощностью излучения 120 Вт и временем воздействия 180 с. Второй, третий и четвертый режимы – обработка семян ультразвуком с частотой соответственно 20, 40, 60 кГц, мощностью излучения 240 Вт и временем воздействия 105 с. Обработанные семена высевали в поле. По результатам полевых опытов определен оптимальный режим ультразвуковой предпосевной обработки семян ячменя: частота ультразвуковых колебаний – 60 кГц, мощность излучения – 240 Вт, время воздействия 105 с. Обработка семян в оптимальном режиме обеспечивает увеличение длины стеблей на 21 %, количества зерен в колосе на 22 %, среднее количество зерен в одном снопке на 37 %, вес зерен в одном снопке на 49 %, массу 1000 зерен на 9 %. Расчеты показывают, что урожайность ячменя увеличивается на 54 % – с 11 ц/га до 17 ц/га.

Ключевые слова: *обработка ультразвуком, ультразвук, активация жизнедеятельности зерна, урожайность зерна.*

Для цитирования*: Волхонов М.С., Беляков М.М., Зимин И.Б. Влияние ультразвуковых колебаний на урожайность ячменя в полевых условиях // Аграрный вестник Верхневолжья. 2023. № 1. (42). С. 67-74.*

Главной задачей для сельского хозяйства является увеличение производства продовольственного и фуражного зерна [1].

Основной из причин низкой урожайности зерновых культур является недостаточно высокое качество семян. Так, например, по данным госсеминспекции в России высевают не более 20 % высококлассных семян, а некондиционных - до 34,9 % [2]. За счет повышения качества семян можно снизить нормы высева и, как следствие, сократить семеноводческие посевы и получить дополнительно 1,7...1,9 млн т. зерна, что сопоставимо с общим объемом высеваемых семян в РФ [3].

Повысить урожайность зерна возможно активацией жизнедеятельности семян перед посевом. В процессе активации жизнедеятельности семена набирают запасы энергии, способствующие повышению урожайности до 35-40 %. Существует множество способов подготовки и предпосевной обработки семян. Семена обрабатывают электростатическими полями различного диапазона, применяют биологические и химические активаторы, например с помощью препарата Агромикс повы-

шается лабораторная всхожесть и энергия прорастания ярового ячменя [4], препарат Селенат натрия используют для определения лабораторной всхожести семян сои [5]. Обрабатывают семена электромагнитными волнами с ультрафиолетовым и инфракрасным излучением, ультразвуком и другими способами.

Применение акустической энергии является одним из перспективных способов предпосевной обработки семенного материала. По данным исследователей [6] обработка ультразвуком сухих семян пшеницы мощностью излучения 360 Вт в течение 5 минут приводит к увеличению числа проросших семян на 36 % по сравнению с контрольными образцами.

Обработка семян ячменя в дистиллированной воде ультразвуком частотой 48 кГц с интенсивностью колебаний 42 Вт/см2 в течение 480 с [7,8] обеспечивает прирост в весе после поглощения воды 10-12 %, средние показатели всхожести – 80,8 %. К недостаткам этого способа можно отнести использование дистиллированной воды, авторами не приводятся результаты исследований влияния параметров ультразвука на урожайность в полевых условиях, не описывается механизм активации жизнедеятельности семян.

Таким образом, влияние ультразвуковой обработки на урожайность зерна недостаточно изучено.

Цель научного исследования – повышение показателей урожайности семян ячменя.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

-разработать способ и устройство предпосевной обработки семян ультразвуком;

-провести предпосевную обработку семян ячменя ультразвуком. Изучить влияние частоты ультразвуковых колебаний, мощности излучения, времени воздействия на длину стеблей ячменя, количество зерен в колосе, количество зерен на 1 м^2, вес зерен и урожайность в полевых условиях.

Материалы и методы исследования

Для повышения урожайности был разработан способ активации жизнедеятельности семян, предусматривающий обработку семян ультразвуковыми колебаниями в ванне с водой с частотой ультразвуковых колебаний от 20 - 60 кГц, мощностью излучения до 240 Вт в течение 30…180 секунд с последующей подсушкой при подготовке семян для высева в поле или без подсушки при обработке на солод. Режим обработки устанавливается в зависимости от вида культуры.

Для определения оптимального режима активации жизнедеятельности семян ячменя была разработана модель воздействия частоты ультразвуковых колебаний, мощности излучения и времени воздействия на урожайность, вес зерен, количество зерен в колосе, длину стеблей, количество колосков.

В качестве входных факторов приняли частоту ультразвуковых колебаний f, кГц, мощность излучения P, Вт и время воздействия ультразвуком на семена t, с.

Функциями отклика являлись урожайность У, ц/га, количество зерен в колосе Q1, шт, количество зерен в снопках на 1 м^2 Q2, шт, количество колосков Q3, шт, длина стеблей ячменя, L, мм, масса зерен в снопках на 1 м^2, m, гр.

На основании полученной модели была разработана схема проведения лабораторных исследований:

– предпосевная обработка семян ячменя в ультразвуковой ванне с водой на разных режимах работы установки с последующей подсушкой;

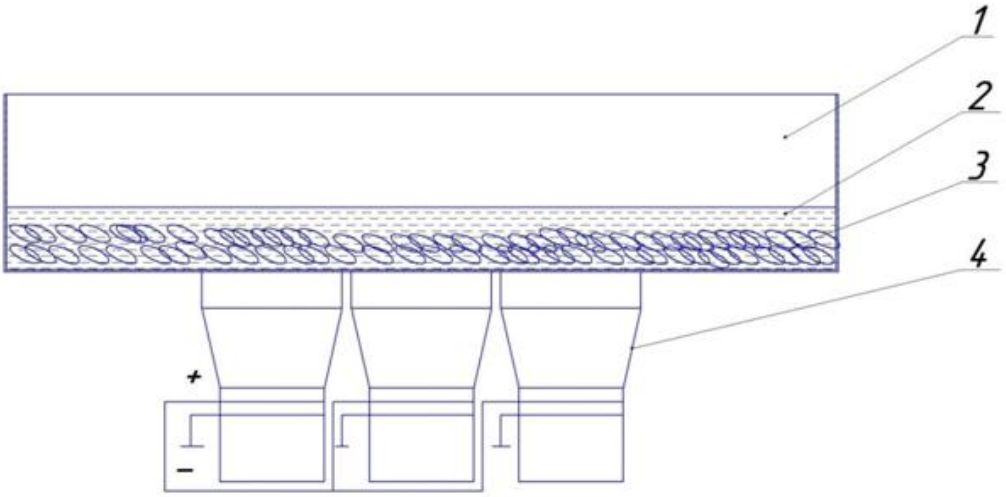
– подготовка делянки с последующим посевом семян ручной сеялкой;

– сбор снопков с 1 м^2 в каждом опыте для последующей статистической обработки;

– измерение длины стеблей, числа зерен в колосе, количества зерен на 1 м^2 поля, количества колосков, массы зерен и расчет урожайности для каждого режима обработки, проведение статистического анализа.

Разработанный способ предпосевной обработки семян 3 (рисунок 1) ультразвуковыми колебаниями был реализован в ванне 1 с водой 2. Ванна снизу оснащена ультразвуковыми излучателями

4. Частоту ультразвуковых колебаний изменяли при помощи регулятора, подключенного к формирователю импульсов на ультразвуковом генераторе (рисунок 2). Изменение мощности излучения осуществляли путем изменения количества подключенных к генератору излучателей.



1 - ванна; 2-вода; 3-семена; 4-ультразвуковые излучатели
Рисунок 1 - Ванна с ультразвуковыми излучателями

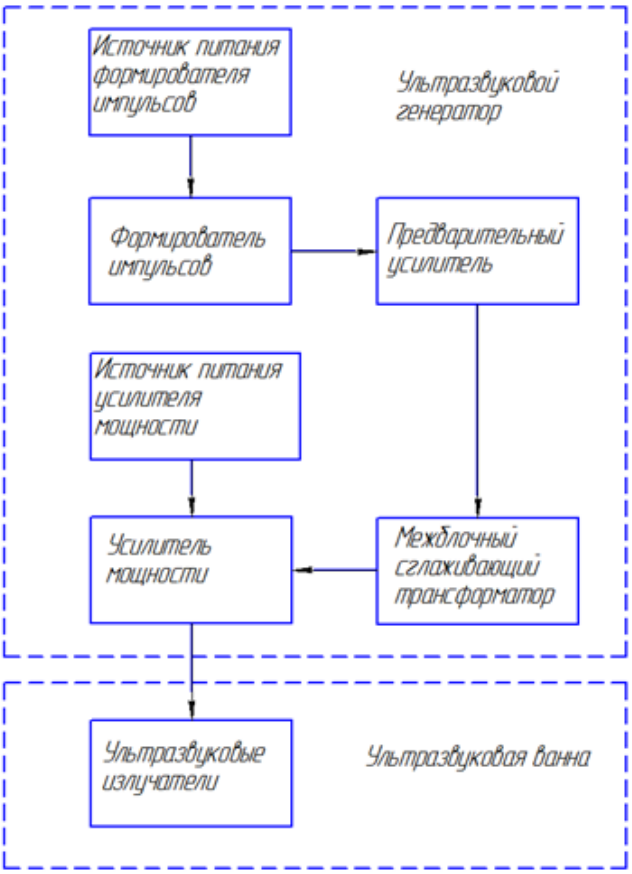


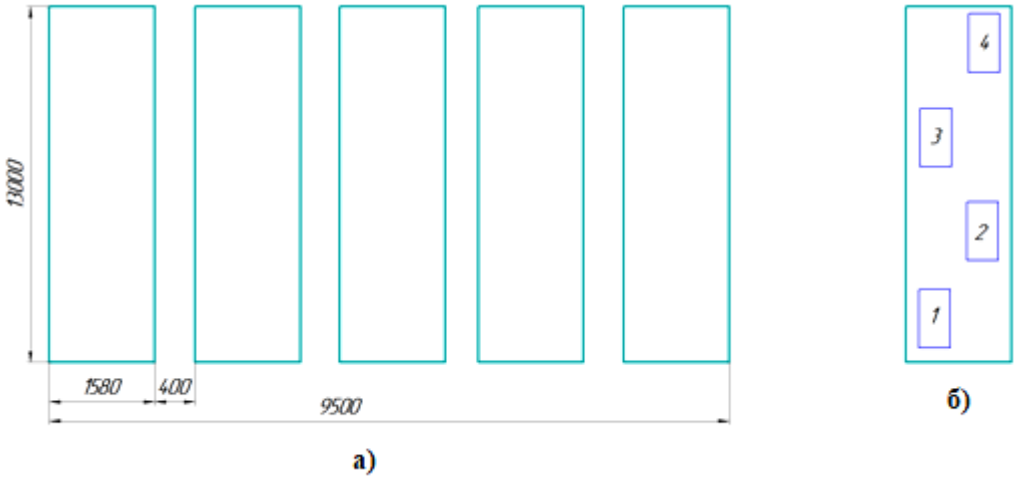
Рисунок 2 - Ультразвуковое устройство предпосевной обработки семян

В разработанном устройстве обрабатывали семена ячменя сорта «Владимир» по следующей методике. По результатам лабораторных исследований длины ростков после ультразвуковой

обработки были определены четыре лучших режима обработки. Первый режим предусматривал обработку семян ультразвуком частотой 60 кГц, с мощностью излучения 120 Вт и временем воздействия 180 с. На втором, третьем и четвертом режимах семена обрабатывали ультразвуком с частотой соответственно 20, 40, 60 кГц, мощность излучения составляла 240 Вт и время воздействия 105 с для этих режимов.

После проведения предпосевной обработки семена были подсушивались для высева в поле. Для обеспечения условий проведения опыта была подготовлена делянка размером 13х9,5 м с пятью продольными рядами для каждого режима обработки (рисунок 3 а).

На каждом участке делянки дополнительно размечали четыре прямоугольника в шахматном порядке площадью 1 м^2 (рисунок 3 б) [9].



а) Схема делянки б) Разметка участков на делянке

Рисунок 3 - Делянка

Посев проводился следующим образом: маркером проведились бороздки на расстоянии 150 мм для последующего прохода ручной сеялки EarthWay 1001-b. На следующие сутки были проведены работы по прикатыванию почвы с помощью специального утяжеленного катка. Регулярно проводилась работы по очищению участка от сорняков.

Заключительным этапом полевого опыта была уборка созревших снопков ячменя. Из размеченных прямоугольников были извлечены снопки стеблей ячменя с колосками и корешками без нарушения структуры растений. Каждый снопок был пронумерован и помещен в сухое место. Из-за достаточно сухого летнего периода дополнительная сушка полученного материала не требовалась.

Оценка параметров урожайности велась по «Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» [9] и методике полевого опыта [10].

Результаты исследования

На основании проведенных исследований был выполнен математический анализ с расчетом разности между выборочными средними d, определение t_{05} критерия на 5%-ном уровне значимости, определение наименьшей существенной разности $НСР_{05}$ на 5%-ном уровне значимости в зависимости от режима обработки (табл.1,2,3). Каждый опыт проводился в четырехкратной повторности.

Статистически значимым по сопоставлению $t_{факт} > t_{табл}$ и d>НСР из всех режимов обработки влияния ультразвука на длину стеблей ячменя оказывает режим работы с частотой ультразвуковых колебаний 60 кГц, мощностью излучения 240 Вт и временем воздействия 105 с. Остальные режимы не попали в критическую область, следовательно, нулевая гипотеза не опровергается. Об-

работка семян ультразвуковыми колебаниями в этом режиме обеспечивает увеличение длины стеблей с 307, 82 до 372,23 мм.

Статистически значимым по сопоставлению $t_{факт} > t_{табл}$ и d>НСР из всех режимов обработки влияния ультразвука на количество зерен в колосе (табл.1) оказывает режим работы с частой ультразвуковых колебаний 60 кГц, мощностью излучения 240 Вт и времени воздействия 105 с, остальные режимы не попадают в критическую область, следовательно, нулевая гипотеза не опровергается.

Таблица 1 - Результаты статистического анализа влияния ультразвуковой обработки на количество зерен в колосе

Частота, f,кГц.	Мощность, Р, Вт.	Время, t, с.	Среднее количество зерен в колосе , Q1,шт	Сопоставление фактического критерия Стьюдента,$t_{факт,}$ и таблично-го,$t_{табл.}$	Сопоставление разности между выборочными средними,d, шт, и наименьшей существенной разности, НСР, шт.
60	120	180	12,2	0,4<1,98	0,39<1,94
20	240	105	12,2	0,46<1,98	0,44<1,88
40	240	105	12,3	0,5<1,98	0,46<1,8
60	240	105	14,4	2,96>1,98	2,61>1,74
Контроль			11,8		

Сопоставление фактического значения t с теоретическим для режима работы с частотой ультразвуковых колебаний 60 кГц, мощностью излучения 240 Вт и временем воздействия 105 с показывает, что 2,96>1,98 разность существенна при 5%-ном уровне значимости, следовательно, выполняется условие $t_{факт} > t_{05,}$ поэтому нулевая гипотеза об отсутствии существенных различий между средними опровергается. Также выполняется условие разности между средними $d > НСР_{05}$, что составляет 2,61>1,74, следовательно, разность между средними попадает в критическую область существенных различий, нулевая гипотеза опровергается, разность значима.

Статистически значимым по сопоставлению $t_{факт} > t_{табл}$ и d>НСР из всех режимов обработки влияния ультразвука на количество зерен в снопках оказывает режим работы с частой ультразвуковых колебаний 60 кГц, мощностью излучения 240 Вт и временем воздействия 105 с, остальные режимы не попадают в критическую область, следовательно, нулевая гипотеза не опровергается. Обработка семян ультразвуковыми колебаниями в этом режиме обеспечивает увеличение количества зерен с 727 до 999 шт/м^2.

Статистически значимым по сопоставлению $t_{факт} > t_{табл}$ и d>НСР из всех режимов обработки влияния ультразвука на количество колосков (табл. 2) оказывает режим работы с частой ультразвуковых колебаний 60 кГц, мощностью излучения 240 Вт, и временем воздействия 105 с, остальные режимы не попадают в критическую область, следовательно, нулевая гипотеза не опровергается.

Таблица 2 - Результаты статистического анализа влияния ультразвуковой обработки на количество колосков на 1 м^2

Частота,кГц	Мощность, Вт	Время, t,с	Среднее количество колосков Q3, шт	Сопоставление фактического критерия Стьюдента, $t_{факт}$, и табличного,$t_{табл.}$	Сопоставление разности между выборочными средними,d, шт, и наименьшей существенной разности, НСР, шт.
60	120	180	59,3	1,20<1,98	2,25<3,68
20	240	105	54,7	-3,37<1,98	-3,96<3,68
40	240	105	62,3	0,58<1,98	0,75<2,53
60	240	105	68,7	3,19>1,98	7,25>4,49
Контроль			61,5		

Сопоставление фактического значения t с теоретическим для режима работы с частотой ультразвуковых колебаний 60 кГц, мощностью излучения 240 Вт и временем воздействия 105 с показывает, что 3,19>1,98 разность существенна при 5%-ном уровне значимости, следовательно, выполняется условие $t_{факт} > t_{05}$, поэтому нулевая гипотеза об отсутствии существенных различий между средними опровергается. Также выполняется условие разности между средними $d > НСР_{05}$, что составляет 7,25>4,49, следовательно, разность между средними попадает в критическую область существенных различий, нулевая гипотеза опровергается, разность значима.

Статистически значимым по сопоставлению $t_{факт} > t_{табл}$ и d>НСР из всех режимов обработки влияния ультразвука на массу зерен в снопках (табл. 3) оказывает режим работы с частотой ультразвуковых колебаний 60 кГц, мощностью излучения 240 Вт и временем воздействия 105 с, остальные режимы не попадают в критическую область, следовательно, нулевая гипотеза не опровергается.

Таблица 3 - Результаты статистического анализа влияния ультразвуковой обработки на массу зерен в снопках

Частота,кГц	Мощность, Вт	Время, t,с	Средняя масса зерен, m,г	Сопоставление фактического критерия Стьюдента, $t_{факт}$, и табличного,$t_{табл.}$,	Сопоставление разности между выборочными средними,d, г, и наименьшей существенной разности, НСР, г.
60	120	180	31,1	0,58<2,45	2,55<10,6
20	240	105	27,3	0,27<2,45	1,26<11,41
40	240	105	31,4	0,81<2,45	2,91<8,79
60	240	105	42,8	2,21>1,94	14,2>12,43
Контроль			28,5		

Сопоставление фактического значения t с теоретическим для режима работы с частотой ультразвуковых колебаний 60 кГц, мощности излучения 240 Вт и временем воздействия 105 с показывает, что 2,21>1,94 разность существенна при 10%-ном уровне значимости, следовательно, выполняется условие $t_{факт} > t_{10}$, поэтому нулевая гипотеза об отсутствии существенных различий между средними опровергается. Также выполняется условие разности между средними $d > НСР_{10}$, что составляет 14,2>12,43, следовательно, разность между средними попадает в критическую область существенных различий, нулевая гипотеза опровергается, разность значима. Обработка семян ультразвуковыми колебаниями в этом режиме обеспечивает увеличение массы 1000 зерен на 3,6 г, что составляет 9 %.

Расчеты показывают, что урожайность ячменя при предпосевной обработке ультразвуком в оптимальном режиме увеличивается на 54 % – с 11 ц/га до 17 ц/га.

Выводы

Разработан способ предпосевной ультразвуковой обработки семян, предусматривающий обработку семян ультразвуковыми колебаниями в ванне с водой с частотой ультразвуковых колебаний от 20 - 60 кГц, мощностью излучения до 240 Вт в течение от 30 до 180 секунд с последующей подсушкой при подготовке семян для высева в поле.

В оптимальном режиме обработки ячменя ультразвуком частота ультразвуковых колебаний – 60 кГц, мощность излучения – 240 Вт, время воздействия - 105 с.

Обработка семян ультразвуковыми колебаниями в этом режиме обеспечивает увеличение длины стеблей на 21 %, количества зерен в колосе на 22 %, среднее количество зерен в одном снопке на 37 %, вес зерен в одном снопке на 49 %, массу 1000 зерен на 9 %. Расчеты показывают, что урожайность ячменя увеличивается на 54 % – с 11 ц/га до 17 ц/га.

Список используемой литературы

1. Безопасность России. Правовые, социально экономические и научно-технические аспекты. Продовольственная безопасность. Раздел 1. М.: МГФ "Знание", 2000.

2. Тарасенко А.П. Современные машины для послеуборочной обработки зерна и семян / А.П. Тарасенко. М.: Колос С, 2008.

3. URL: http://www.studfiles.ru/preview/4071709, (дата обращения 25.12.2022).

4. Головкова Т.В., Болнова С.В., Ивановская К.А., Печенкин Д.В., Добрецов И.В. Оценка влияния предпосевной обработки семян растворами микроудобрений на посевные качества семян и морфофизиологические показатели проростков сортов ярового ячменя
// АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2021. № 3.

5. Кокорина А.Л., Петрова Н.А., Демьянова-Рой Г.Б. Влияние микроэлементов на формирование проростков семян сои сортов северного экотипа // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 40.

6. Потороко И.Ю., Науменко Н.В., Калинина И.В., Кретова Ю.И., Фаткуллин Р. И., Паймуллина А.В., Руськина А.А., Попова Н.В., Ускова Д.Г. Патент RU 2690486 C1 A01 C 1/00 Способ стимулирования прорастания зерна; заявл. 01.10.2018 ; опубл. 03.06.2019.

7. Алдошин Н.В., Сибирёв А.В., Панов А.И., Мосяков М.А. Повышение посевных качеств семян ячменя // Аграрный вестник Верхневолжья. 2022. № 1 (38).

8. Мосяков М.А., Катаев Ю.В., Свиридов А.С. Выявление закономерностей биологического ответа семян ячменя на ультразвуковое воздействие // Агробиотехнология-2021: материалы международной научной конференции. Москва РГАУ МСХА, 2021.

9. URL :https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/08/metodica_2.pdf, (дата обращения 30.11.2022)

10. Методика полевого опыта (С основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979.

References

1. Bezopasnost Rossii. Pravovye, sotsialno ekonomicheskie i nauchno-tekhnicheskie aspekty. Prodovolstvennaya bezopasnost. Razdel 1. M.: MGF "Znanie", 2000.

2.Tarasenko A.P. Sovremennye mashiny dlya posleuborochnoy obrabotki zerna i semyan / A.P. Tarasenko. M.: Kolos S, 2008.

3. URL: http://www.studfiles.ru/preview/4071709, (data obrashcheniya 25.12.2022).

4. Golovkova T.V., Bolnova S.V., Ivanovskaya K.A., Pechenkin D.V., Dobretsov I.V. Otsenka vliyaniya predposevnoy obrabotki semyan rastvorami mikroudobreniy na posevnye kachestva semyan i morfofiziologicheskie pokazateli prorostkov sortov yarovogo yachmenya // AgroEkoInfo: Elektronnyy nauchno-proizvodstvennyy zhurnal. 2021. №3

5. Kokorina A.L., Petrova N.A., Demyanova-Roy G.B. Vliyanie mikroelementov na formirovanie prorostkov semyan soi sortov severnogo ekotipa // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 40.

6. Potoroko I.Yu., Naumenko N.V., Kalinina I.V., Kretova Yu.I., Fatkullin R. I., Paymullina A.V., Ruskina A.A., Popova N.V., Uskova D.G. Patent RU 2690486 S1 A01 S 1/00 Sposob stimulirovaniya prorastaniya zerna; zayavl. 01.10.2018 ; opubl. 03.06.2019.

7. Aldoshin N.V., Sibirev A.V., Panov A.I., Mosyakov M.A. Povyshenie posevnykh kachestv semyan yachmenya // Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya. 2022. № 1 (38).

8. Mosyakov M.A., Kataev Yu.V., Sviridov A.S. Vyyavlenie zakonomernostey biologicheskogo otveta semyan yachmenya na ultrazvukovoe vozdeystvie // Agrobiotekhnologiya-2021: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Moskva RGAU MSKhA, 2021.

9. URL :https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2019/08/metodica_2.pdf, (data obrashcheniya 30.11.2022)

10. Metodika polevogo opyta (S osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy). M.: Kolos, 1979.

DOI: 10.35523/2307-5872-2023-42-1-75-83
УДК 631.3.0

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ДИНАМИКИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕННОСТИ РОССИЙСКИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТОВАРОПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Колосовский А.М., Санкт-Петербургский ГАУ, Калининградский филиал;
Новиков М.А., Санкт-Петербургский ГАУ;
Рожков А.С., Санкт-Петербургский ГАУ, Калининградский филиал

В статье рассматриваются актуальные вопросы энергетической обеспеченности сельскохозяйственных товаропроизводителей. В современном мировом АПК совершается «вторая зеленая революция», демонстрирующая в том числе резкий рост производительности труда, снижение издержек производства, обращения и потребления в агросфере за счет цифровизации. В то же самое время в России существует устойчивый тренд на многолетнее снижение числа комбайнов, тракторов и другой сельхозтехники в расчете на единицу площади обрабатываемых сельхозугодий. При этом пропорционально из года в год также растет нагрузка пашни на используемую сельскохозяйственную технику. По этим показателям российский АПК не менее чем в 2 – 2,5 раза отстает от энергообеспеченности США, Канады, Франции, и даже в 1,5 раза от показателей Белоруссии и Казахстана. Указанный тренд объясняется не только общемировой тенденцией роста производительности техники и эффективности ее использования в АПК, но и проблемами платежеспособности российских сельхозпроизводителей, а также недостаточным уровнем производства высокопроизводительной и эффективной сельхозтехники отечественным сельхозмашиностроением, низкой обеспеченностью автозапчастями и развитием ремонтной базы, что особенно актуально в условиях действующих санкций. Делается вывод о возможности и необходимости решения указанной проблемы за счет расширения производства отечественной высокоэффективной автотракторной сельхозтехники, ее модернизации, в том числе роботизации; развития широкой сети современных машинно-технологических станций, работающих на условиях агролизинга, способных обеспечивать высокоэффективную эксплуатацию комбайнов, тракторов и других видов сельхозтехники и ее своевременное и качественное обновление.

Ключевые слова: *агролизинг, агросервис, машинно-технологические станции, сельхозтоваропроизводитель, энергообеспеченность.*

Для цитирования: *Колосовский А.М., Новиков М.А., Рожков А.С. оценка состояния и динамики энергообеспеченности российских сельскохозяйственных товаропроизводителей // Аграрный вестник Верхневолжья. 2023. № 1. (42). С. 75-83.*

Введение. Развитие современного российского АПК немыслимо без постоянного обновления основного капитала и его технической модернизации как вообще, так и обеспечения аграрников высокопроизводительными тракторами, комбайнами и др. техникой, в частности.

Из опубликованного ВШУ прогноза развития АПК в мире до 2025 г. следует (таблица 1), что наивысшие темпы будет иметь развитие и внедрение робототехнических систем. В связи с этим актуальным является анализ энерго- и технической обеспеченности АПК регионов РФ. Пока робототехнические системы не стали полновластными хозяевами полей и ферм России, посмотрим, как обстоят дела с механизацией производства российских агрохозяйств.

Таблица 1 - Структура АПК 4,0 в мире [4]

Сегмент	Млрд. долл. США		CAGR	Прирост
	2018 г.	2025 г.		
Продукция АПК	1078	1588	5,7%	+509,3
Технологии и средства производства	244	473	9,9%	+229,3
в т.ч. робототехника	7,5	87,9	42,1%	+80,4

Цель исследования. Проведение анализа понижающих тенденций в энергообеспеченности отечественных сельскохозяйственных товаропроизводителей, выявление причин происходящих процессов в сфере энергообеспеченности отечественного АПК (тракторов, комбайнов и др. сельхозмашин), выработка рекомендаций по изменению складывающегося негативного тренда на благоприятный сценарий развития отечественного АПК.

Материалы, методы и объекты исследования. По результатам литературного анализа российских профессиональных источников были построены статистические модели, позволяющие графически интерпретировать, а также построить линии тренда развития ситуации с энергообеспеченностью отечественных сельхозтоваропроизводителей [10].

Результаты исследования. Анализ графиков, представленных на рисунке 1, показывает, что концентрация тракторов, комбайнов и др. сельхозтехники в расчете на 1000 га посевов (посадки) соответствующих культур (шт.) неуклонно снижается из года в год в интервале наблюдения с 1990 по 2021 гг. (при незначительном всплеске показателя оснащенности на рубеже 1993-2004 гг.). На рисунке 2 представлены графики нагрузки пашни на один трактор, комбайн и другую сельхозтехнику, га (а) и количества единиц тракторов, комбайнов и др. сельхозтехники, приходящейся на 1000 га пашни, шт. (б). Нетрудно заметить, что наблюдается т.н. «крестообразная» зависимость между устойчивым снижением оснащенности пашни (на 1000 га) тракторами и таким же устойчивым ростом нагрузки пашни на 1 трактор, комбайн и другую сельхозтехнику (га). Как представляется авторам, подобную тенденцию, наблюдаемую во всех развитых сельскохозяйственных державах, можно объяснить значительным ростом производительности и универсальности сельскохозяйственной техники. На рисунке 3 показана концентрация посевов (посадки) на один трактор, комбайн и другие сельхозмашины соответствующих культур. Нетрудно заметить, что при общем генеральном тренде на устойчивое сокращение энергетических мощностей сельхозтехники у производителей сельскохозяйственных культур наблюдается устойчивый рост мощностей только в производстве кукурузы. Это можно объяснить значительно большей отдачей, эффективностью именно этой культуры.

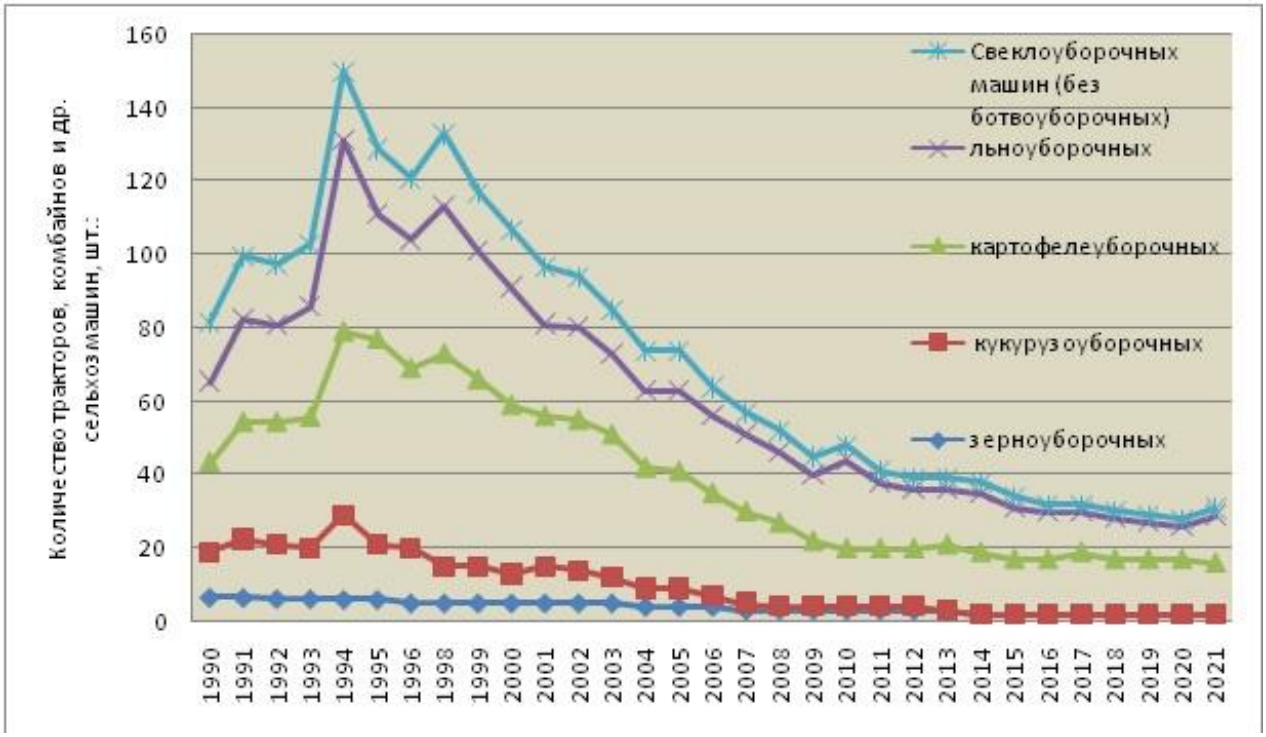


Рисунок 1 - Концентрация тракторов, комбайнов и другой сельхозтехники на 1000 га посевов (посадки) соответствующих культур, шт. Разработано авторами по материалам [9].

Что же касается самой тенденции в энергообеспеченности сельхозтехникой российского АПК, то это тренд многолетнего и устойчивого снижения [10]. В 2020 году энергообеспеченность аграриев составила 90 млн. л.с., а четверть из этих мощностей сосредоточена всего в пяти регионах. По данным Росстата, наличие энергетических мощностей сельхозтехники в стране за прошлый год уменьшилось на 2,3 % до 90,2 млн. л.с. По сравнению с 2012-м г. показатель снизился на 12,4 млн. л.с. Согласно информации Росстата, количество всех основных видов сельхозтехники в стране продолжило сокращаться.

По расчетам Минсельхоза в России на 1 тыс. га пашни приходится 2 трактора и 1,6 комбайна. Для сравнения, в Германии — 65 тракторов и 11,5 комбайна, в США — 25,9 и 17,9, в Канаде — 16 и 7. В соседних Белоруссии и Казахстане техники тоже больше: в первой на 1 тыс. га есть 9,3 трактора и 5 комбайнов, во втором — 6,4 и 2,8. Как ранее отмечал директор департамента растениеводства, механизации, химизации и защиты растений Минсельхоза РФ Некрасов Р.В. [4], урожайность напрямую зависит от энергообеспеченности, и по этому показателю Россия тоже отстает от передовых стран: если у них собирают 50−60 ц/га зерновых агрокультур, то у нас — примерно вдвое меньше.

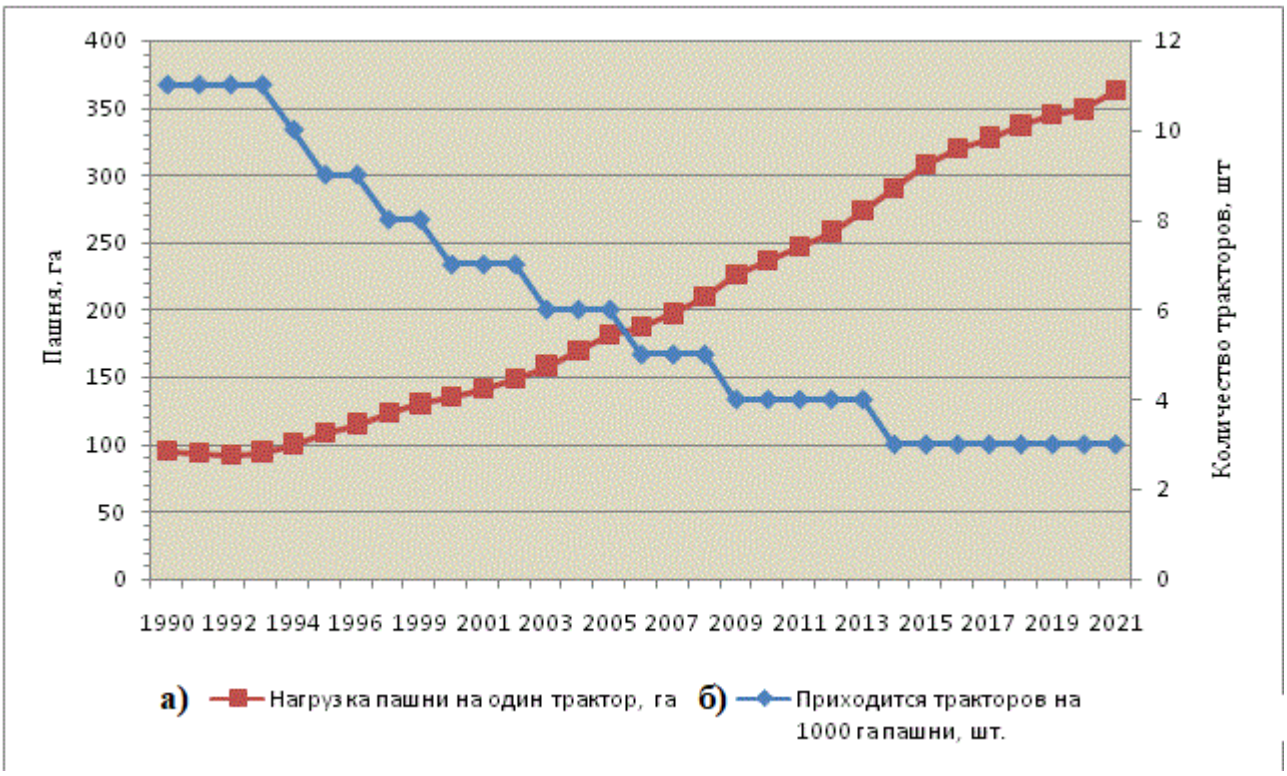


Рисунок 2 - а) Нагрузка пашни на один трактор, комбайн и другую сельхозтехнику, га; б) Количество единиц тракторов, комбайнов и др. сельхозтехники, приходящейся на 1000 га пашни, шт. Разработано авторами по материалам [9].

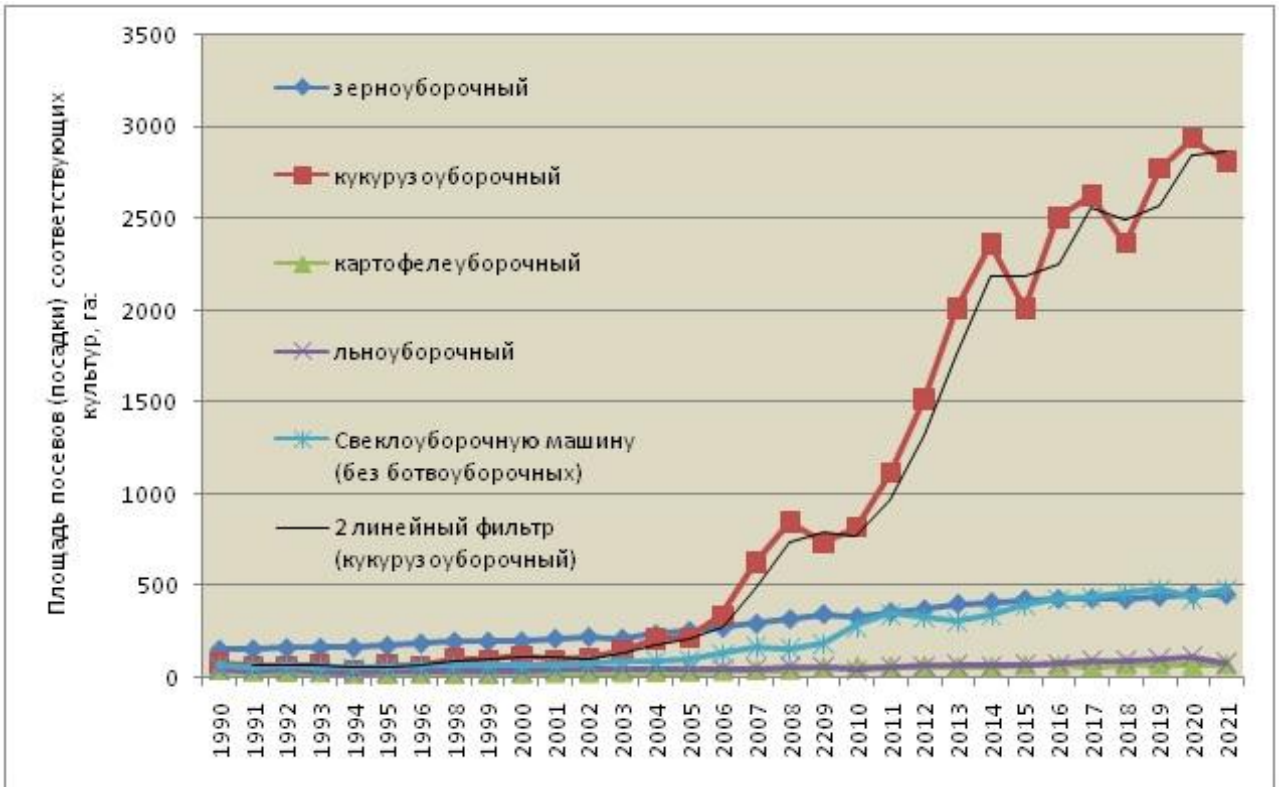


Рисунок 3 - Концентрация посевов (посадки) на один трактор, комбайн и др. сельхозмашин соответствующих культур, га. Разработано авторами по материалам [9].

На основе данных Росстата «Агроинвестор» составил рейтинг регионов, которые лучше всего обеспечены сельхозтехникой с точки зрения ее общей мощности (рисунок 4). По федеральным округам лидирует Приволжье, где совокупные энергетические мощности техники достигают 23,2 млн. л.с. Далее следует Центральный федеральный округ (почти 22 млн. л.с.) и Южный федеральный округ (15,5 млн. л.с.).

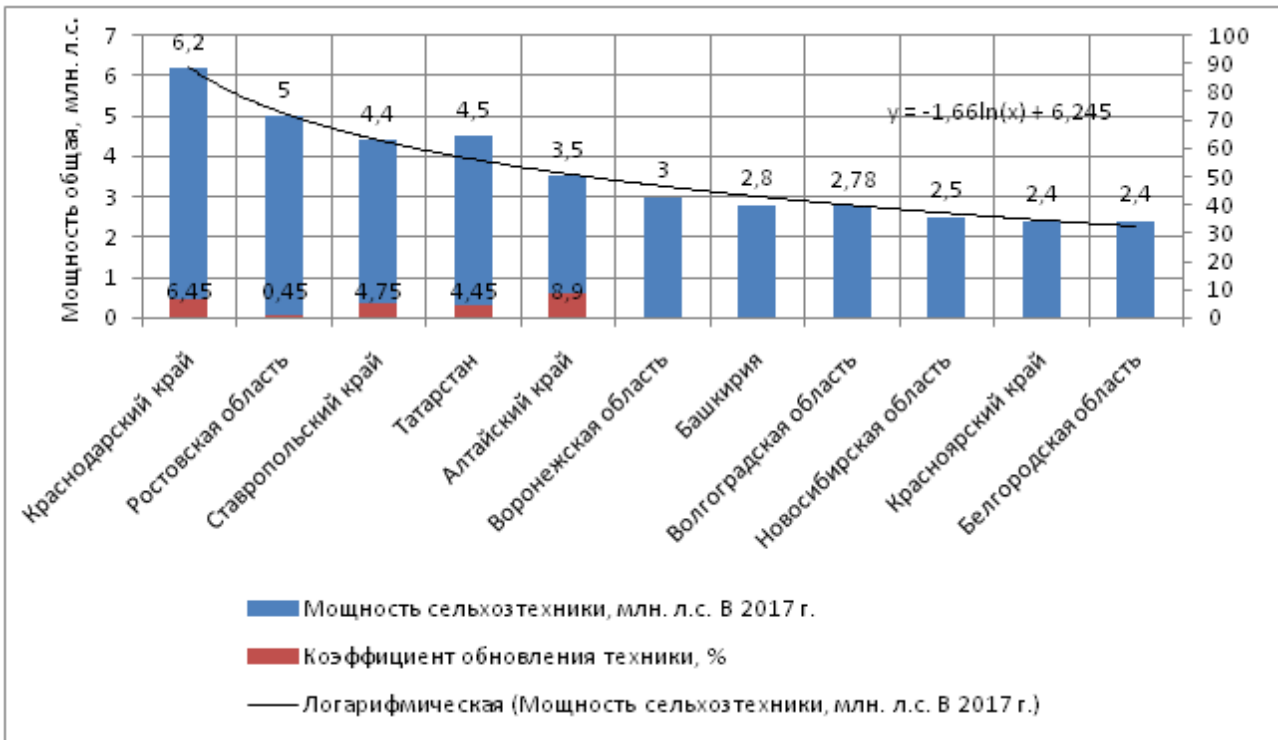


Рисунок 4 - Анализ энергообеспеченности предприятий АПК по мощности, л.с. Разработано авторами по материалам [11].

Среди регионов лидирует Краснодарский край, где общая мощность техники на конец 2017 года достигла 6,2 млн. л.с. Средний коэффициент обновления техники в регионе — 6,45 %. (рисунок 5). Как и в целом по России, в Краснодарском крае также самый значительный коэффициент обновления был по посевным комплексам (11,8 %). По тракторам и комбайнам показатель составил 4,4 % и 6,2 % соответственно.

С другой стороны, в мире разворачивается вторая зеленая революция, сопровождающаяся тем, что аналоговый период в сельском хозяйстве закончился, поскольку отрасль вошла в цифровую эру. Сопровождается этот процесс, в том числе и цифровизацией сельскохозяйственной техники. Не отстает от общемирововой тенденции и Россия. Например, в конце августа 2022 года АО «Научно-производственное объединение автоматики имени академика Н.А. Семихатова» (входит в состав госкорпорации «Роскосмос») объявило о начале серийного производства автопилотов для сельскохозяйственной техники. По словам разработчиков, новая система, устанавливаемая на комбайн, трактор, опрыскиватель и т. п., способна увеличить собираемость урожая на 20-30 % [6].

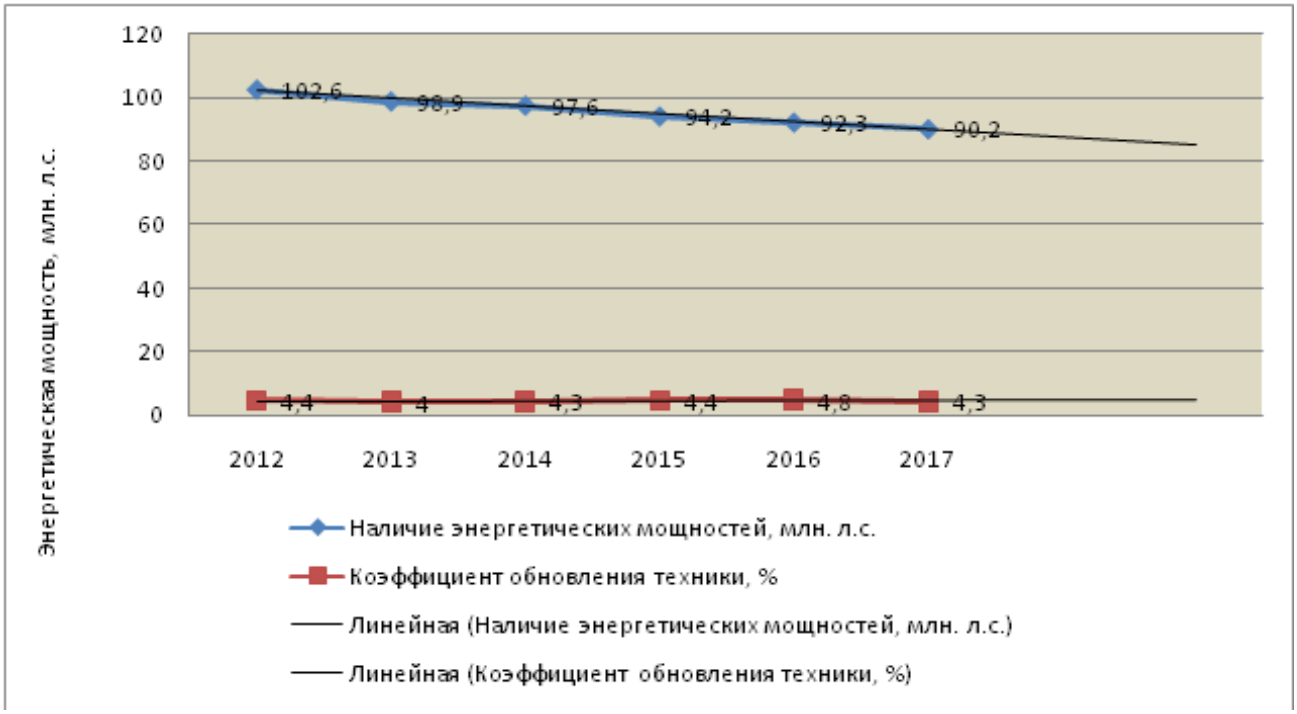


Рисунок 5 - Наличие в хозяйствах АПК России энергомощностей (млн. л.с.) и коэффициент обновления техники (%). Разработано авторами по материалам [11].

Достаточно эффективным, и в то же время, прошедшим проверку десятилетиями решением, стало создание еще в советские времена машинно-тракторных станций, которые уже в современной России переросли в машинно-технологические станции (МТС) [3], основные функции которых — самостоятельное или совместное производство сельскохозяйственной продукции с действующими сельскохозяйственными предприятиями всех форм собственности, оказание многофункционального технического сервиса потребителям. Среди преимуществ в организации МТС: - обеспечение повышения производительности машин в 2-3 раза выше, чем в хозяйствах; - эффективное сервисное обслуживание; - закрепление кадров механизаторов [7]. В то же самое время МТС функционируют уже длительное время, однако они пока не оказали ощутимой помощи сельскому хозяйству. Как отмечают ряд специалистов, причина здесь в том, что большинство МТС до сих пор не вышли на проектную мощность, а само сельское хозяйство технически не подготовлено для реализации новых технологий, отсутствует хозяйственный механизм функционирования производственно-технологического обслуживания сельских товаропроизводителей. При этом на МТС возлагается задача внедрения высокоэффективных технологий в сельском хозяйстве. Как отмечает Л.И. Кушнарев, концентрация техники в МТС способствуют решению задач по производству сельскохозяйственной продукции при снижении потребности в инвестициях на воссоздание технического потенциала АПК [10, с. 8]. Таким образом, выходом из наблюдаемой негативной тенденции и может быть концентрация эффективных капитальных ресурсов в руках высокоорганизованных МТС.

Необходимо отметить, что Правительством РФ осуществляется поддержка участников рынка лизинговых услуг в сфере АПК в различной форме. Например, по постановлению Правительства РФ № 1313 от 7 августа 2021 г. [2] осуществляется господдержка лизинговых компаний, работающих в области финансовой аренды (лизинга) и поставляющих лизингополучателям высокотехнологичное оборудование и технику.

Тем не менее, по мнению специалистов Некоммерческого Партнерства «Объединение производителей специализированной техники» [8], изменения к Правилам предоставления субсидий производителям сельскохозяйственной техники, установленные Постановлением Правительства Рос-

сии № 1432, [1] не оказывают ожидаемого положительного эффекта. Обновление парка машин в сельскохозяйственных предприятиях не ускоряется, поскольку в очередной раз не позволяют субсидии обеспечить поддержку инвестиционным проектам реализуемым участниками партнерства.

Предоставление сельскохозяйственным товаропроизводителям субсидии на компенсации процентной ставки по кредитам, привлеченным на обновление парка сельскохозяйственных машин, позволило бы улучшить ситуацию с обновлением парка техники намного быстрее в сравнении с действующей субсидией. Если несколько лет тому назад эксперты оценивали потери агропромышленного комплекса (АПК) страны из-за слабой технической базы в размере около 55 млрд. руб. в год, то сейчас размер таких потерь оценивается уже в объеме около 200 млрд. руб., что сопоставимо со всем объемом ежегодной государственной поддержки, выделяемой из бюджета страны.

Коэффициент обновления парка комбайнов и тракторов составляет в среднем всего порядка 3-6 %, а в самом парке преобладает техника с возрастом свыше 10 лет. За последние годы происходит снижение доли инвестиций в машины, оборудование, транспортные средства в общем объеме инвестиций в основной капитал, направленных на реконструкцию и модернизацию в сельском хозяйстве, продолжает снижаться энергообеспеченность сельскохозяйственных организаций. При этом размер рынка сельскохозяйственной техники и машин в 2014 году практически остался на уровне 2013 года, а доля продукция российских предприятий на внутреннем рынке сельскохозяйственной техники составила порядка 40 %, а в сегменте машин для животноводства – всего около 10 %.

Вывод. В современном мировом АПК совершается «вторая зеленая революция», демонстрирующая в том числе резкий рост производительности труда, снижение издержек производства, обращения и потребления в агросфере за счет цифровизации. Причем наибольшими темами в сфере технологии и средств производства развивается роботизация. Все это значительно повышает производственный потенциал АПК. В то же самое время в России существует устойчивый тренд на многолетнее снижение числа комбайнов, тракторов и другой сельхозтехники в расчете на единицу площади обрабатываемых сельхозугодий. При этом пропорционально из года в год также растет нагрузка пашни на используемую сельскохозяйственную технику. По этим показателям российский АПК не менее чем в 2 – 2,5 раза отстает от энергообеспеченности сельхозпроизводителей самых передовых сельскохозяйственных стран (США, Канада, Франция и пр.), и даже в 1,5 раза от аналогичных показателей Белоруссии и Казахстана. Рассматриваемая ситуация не может считаться благоприятной в прогностическом плане, поскольку не позволяет более стремительно наращивать урожайность сельскохозяйственных культур, обеспеченность перерабатывающей промышленности высококачественным сырьем, население − продовольствием , а скот − фуражом. Указанный тренд объясняется не только общемировой тенденцией на рост производительности техники и эффективности ее использования в АПК, но и чисто российскими проблемами платежеспособности отечественных сельхозпроизводителей, а также недостаточным уровнем производства высокопроизводительной и эффективной сельхозтехники отечественным сельхозмашиностроением, низкой обеспеченностью автозапчастями и развитием ремонтной базы, что особенно актуально в условиях действующих санкций. Как представляется автору, выход из сложившейся ситуации видится в расширении производства отечественной высокоэффективной автотракторной сельхозтехники, ее модернизации, в том числе роботизации; развитии широкой сети современных машинно-технологических станций, работающих на условиях агролизинга, способных обеспечивать высокоэффективную эксплуатацию комбайнов, тракторов и других видов сельхозтехники и ее своевременное и качественное обновление.

Список используемой литературы

1. Постановление Правительства РФ от 27 декабря 2012 г. N 1432 "Об утверждении Правил предоставления субсидий производителям сельскохозяйственной техники" (с изменениями и дополнениями) - URL: https://base.garant.ru/70291682/ (дата обращения 28.12.2022).

2. Постановление Правительства РФ от 7 августа 2021 г. N 1313 "Об утверждении Правил предоставления государственной поддержки лизинговым организациям в целях возмещения недополученных доходов при уплате лизингополучателем лизинговых платежей по договорам финансовой аренды (лизинга) высокотехнологичного оборудования и техники» (с изменениями и дополнениями)- URL:https://base.garant.ru/402615862/ (дата обращения 25.12.2022).

3. Аграрная экономика термины и понятия. Энциклопедический справочник. Национальная энциклопедия (vocable.ru) - URL:https://vocable.ru/termin (дата обращения 30.12.2022).

4. Департамент растениеводства, механизации, химизации и защиты растений МСХ РФ// - URL:https://mcx.gov.ru/ministry/departments/(дата обращения 27.12.2022).

5. Инновационное развитие агропромышленного комплекса в России. Agriculture 4.0/Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2020- URL:https://id.hse.ru/(дата обращения 22.12.2022).

6. ИТ в агропромышленном комплексе России// - URL:https://www.tadviser.ru/index.php/ (дата обращения 20.12.2022).

7. Машинно-технологические станции сегодня в кризисе//Машинно-технологические станции сегодня в кризисе (altapress.ru) - URL:https://altapress.ru/ekonomika (дата обращения 28.12.2022).

8. Некоммерческое партнерство «Объединение производителей специализированной техники» - URL:https://agrovesti.net/lib/industries/engineering/html (дата обращения 21.12.2022).

9. Обеспеченность сельскохозяйственных организаций тракторами и комбайнами по Российской Федерации - URL:https://rosstat.gov.ru/. (дата обращения 18.12.2022).

10. Проблемы развития машинно-технологических станций/Л.И. Кушнарёв/ Вестник ФГОУ ВПО МГАУ.2010. № 6. С. 7-9.

11. Энергообеспеченность российского АПК сельхозтехникой снижается. МСХ РФ. - URL:http://www.povmis.ru/2010/1429-2018-04-25-11-30-06. (дата обращения 18.12.2022).

References

1. Postanovlenie Pravitelstva RF ot 27 dekabrya 2012 g. N 1432. "Ob utverzhdenii Pravil predostavleniya subsidiy proizvoditelyam selskokhozyaystvennoy tekhniki" (s izmeneniyami i dopolneniyami) - URL: https://base.garant.ru/70291682/ (data obrashcheniya 28.12.2022).

2. Postanovlenie Pravitelstva RF ot 7 avgusta 2021 g. N 1313. "Ob utverzhdenii Pravil predostavleniya gosudarstvennoy podderzhki lizingovym organizatsiyam v tselyakh vozmeshcheniya nedopoluchennykh dokhodov pri uplate lizingopoluchatelem lizingovykh platezhey po dogovoram finansovoy arendy (lizinga) vysokotekhnologichnogo oborudovaniya i tekhniki» (s izmeneniyami i dopolneniyami)- URL:https://base.garant.ru/402615862/ (data obrashcheniya 25.12.2022).

3. Agrarnaya ekonomika terminy i ponyatiya. Entsiklopedicheskiy spravochnik. Natsionalnaya entsiklopediya (vocable.ru) - URL:https://vocable.ru/termin (data obrashcheniya 30.12.2022).

4. Departament rastenievodstva, mekhanizatsii, khimizatsii i zashchity rasteniy MSKh RF// - URL:https://mcx.gov.ru/ministry/departments/(data obrashcheniya 27.12.2022).

5. Innovatsionnoe razvitie agropromyshlennogo kompleksa v Rossii. Agriculture 4.0/Natsionalnyy issledovatelskiy universitet «Vysshaya shkola ekonomiki», 2020- URL:https://id.hse.ru/(data obrashcheniya 22.12.2022).

6. IT v agropromyshlennom komplekse Rossii// - URL:https://www.tadviser.ru/index.php/(data obrashcheniya 20.12.2022).
7. Mashinno-tekhnologicheskie stantsii segodnya v krizise//Mashinno-tekhnologicheskie stantsii segodnya v krizise (altapress.ru) - URL:https://altapress.ru/ekonomika (data obrashcheniya 28.12.2022);
8. Nekommercheskoe partnerstvo «Obedinenie proizvoditeley spetsializirovannoy tekhniki» - URL:https://agrovesti.net/lib/industries/engineering/html (data obrashcheniya 21.12.2022).
9. Obespechennost selskokhozyaystvennykh organizatsiy traktorami i kombaynami po Rossiyskoy Federatsii - URL:https://rosstat.gov.ru/. (data obrashcheniya 18.12.2022).
10. Problemy razvitiya mashinno-tekhnologicheskikh stantsiy/L.I. Kushnarev/ Vestnik FGOU VPO MGAU.2010. № 6. S. 7-9.
11. Energoobespechennost rossiyskogo APK selkhoztekhnikoy snizhaetsya. MSKh RF. - URL:http://www.povmis.ru/2010/1429-2018-04-25-11-30-06. (data obrashcheniya 18.12.2022).

DOI: 10.35523/2307-5872-2023-42-1-84-90
УДК:631.363:636

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ НА РАВНОМЕРНОСТЬ УКЛАДКИ СЛОЯ ЗЕРНА В БУНКЕРНОЙ СУШИЛКЕ

Кувшинов В.В., ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА;
Терентьев В.В., ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА;
Кувшинов Е.В., ООО «Ивановский станкостроительный завод»

В статье представлены факторы, снижающие качество процесса сушки зерна в зерновых сушилках бункерного типа. Отмечается важность распределения зерна в сушилке для повышения эффективности процесса сушки. Представлены результаты разработки конструкции рабочего органа для центробежного распределения зерна в зерновой сушилке бункерного типа. Рассмотрен принцип действия рабочего органа при распределении потока зерна в сушилке. Отмечена перспективность использования лопаток различной длины. Обоснована лопастная конструкция основания центробежного разбрасывающего рабочего органа. Представлены параметры, оказывающие наиболее важное влияние на равномерность распределения слоя зерна в бункере сушилки. Выявлена теоретическая зависимость влияния частоты вращения разбрасывающего центробежного рабочего органа и длины его лопаток на дальность полета частиц. Представлены результаты экспериментальных исследований по определению равномерности распределения зерна по отдельным участкам ширины укладки материала в зависимости от частоты вращения центробежного разбрасывающего органа. Анализ результатов исследований показал, что частота вращения центробежного разбрасывателя оказывает влияние как на дальность полета зернового вороха, так и на равномерность его распределения. При этом повышение частоты вращения приводит к эффекту выравнивания равномерности распределения зерна по отдельным участкам укладки. Выявлена закономерность распределения зерна в разных точках разбрасывания. Аппроксимация полученных данных с помощью программы Microsoft Excell и прогнозирование дальнейшей равномерности распределения при изменении частоты вращения свидетельствуют о получении равномерности распределения до 96 % при повышении частоты вращения центробежного разбрасывателя до 1380-1400 мин$^{-1}$.

Ключевые слова: *зерносушилка, бункер, загрузка, распределение, зерно, центробежный, диск.*

Для цитирования*: Кувшинов В.В., Терентьев В.В., Кувшинов Е.В. Влияние частоты вращения центробежного разбрасывателя на равномерность укладки слоя зерна в бункерной сушилке // Аграрный вестник Верхневолжья. 2023. № 1. (42). С. 84-90.*

Введение. В 2022 году в России урожай зерна стал самым высоким за всю историю страны. Такие результаты достигнуты за счет рекордного валового сбора различных сортов пшеницы. По данным Минсельхоза [1] в стране собрано 31,9 млн. тонн зерновых и зернобобовых, в том числе пшеницы 105,7 млн. тонн, зерна ячменя – 24,5 млн. тонн.

Для хранения зерна предусмотрено проведение ряда мероприятий, которые включают в себя проведение следующих технологических операций:

- приемка зернового вороха;
- первичная очистка зернового вороха от примесей;
- консервация зерна;
- вторичная очистка;
- сортирование.

В последние годы наиболее активно используют для консервации зерна следующие способы:
- герметическое хранение в среде инертных газов;
- охлаждение;
- воздействие химических консервантов;
- сушка [2].

Для сушки зерна используются зерносушилки различных конструкций. На сегодняшний день известно множество признаков, в соответствии с которыми классифицируют зерносушильное оборудование [3].

Анализ конструкций сушильных и охладительных камер зерносушилок показал, что они в большинстве случаев (за редким исключением) имеют схожие конструктивные особенности, хотя в них могут протекать совершенно различные процессы. Рассматривая процессы, характерные для сушки зерна, можно отметить следующие негативные явления, как пересушивание и перегрев, или, наоборот, недосушивание или недогрев зерна, а также недостаточное охлаждение зерна после сушки. Одной из причин указанных недостатков при работе сушилок является влияние различной плотности укладки зерна на равномерность распределения воздуха по сечению бункера. Это проявляется в том, что нагретый или охлажденный воздух, стремясь пройти толщу зерна по пути наименьшего сопротивления, направляется в то место, где зерно имеет меньшую плотность укладки. Наибольшая скорость воздуха наблюдается в местах скопления легковесных примесей. В общем случае на плотность укладки зерна в бункерных сушилках оказывают влияние засоренность и самосортирование зерна, а также неудовлетворительная работа подающих и распределительных механизмов при подаче и распределении зерна в бункер. Самосортирования зерна можно избежать, используя на практике специальные устройства, исключающие это явление при загрузке зерна в бункер. Для равномерности укладки в результате наличия в зерне крупных соломистых примесей (вороха) его перед сушкой в бункерных сушилках необходимо очистить на сепараторах или в ворохоочистителе. Равномерно распределить зерновой материал по поверхности предварительно нагретых слоев при загрузке бункера сушилки можно за счет разбрасывающего диска, тем самым улучшая плотность его укладки.

На процесс распределения зерна в зерносушилке центробежным разбрасывателем существенное влияние оказывают следующие параметры: материал, из которого изготовлены лопатки и центробежный диск, форма и частота вращения центробежного диска, количество и частота вращения лопаток разбрасывателя, траектория и скорость полета частиц, температура и плотность воздуха в сушилке.

В настоящее время в качестве материала рабочего органа целесообразно применение различных полимерных материалов. Эффективным является применение полимерных композиционных материалов с улучшенными физико-механическими и триботехническими характеристиками, например композиции на основе термопластичных полимеров [4-6]. Применение данных композиций за счет низкого коэффициента трения позволяет обеспечивать большую начальную скорость схода частицы зернового вороха с рабочего органа.

Наиболее важными параметрами, определяющими качество и равномерность укладки зерна, являются конструктивные параметры и частота вращения разбрасывающего диска, в основном определяющая траекторию и скорость полета частиц зернового вороха.

Для поверхностного распределения сыпучих материалов используют различные рабочие органы.

При работе рабочего органа, представленного в [7] с центробежным диском и установленными на нем под различными углами к радиальному направлению лопатками различной высоты и длины, отмечаются существенные недостатки.

К недостаткам данного рабочего органа можно отнести сложность конструкции и его настройки, которые обусловлены необходимостью индивидуальной регулировки трех параметров каждого из двенадцати сегментов с лопатками.

При использовании рабочего органа, представленного в работе [8], который содержит одну более короткую и одну более длинную разбрасывающие лопатки выявлены следующие недостатки: более короткие забрасывающие лопатки обрабатывают в основном только область рабочей ширины, а более длинные разбрасывающие лопатки обрабатывают область, примыкающую к области рабочей ширины с небольшой зоной перекрытия вееров разброса. Таким образом, рабочий орган создает два веера разброса с различными радиусами и направлением. В результате работы рабочего органа получается картина разброса материала в виде треугольника или трапеции.

Цель и задачи. Технической задачей является повышение равномерности укладки слоя зерна в бункерной сушилке наиболее простым способом. Целью исследования является разработка рабочего органа центробежного разбрасывателя и исследование зависимости частоты вращения разбрасывающего диска на равномерность укладки зерна в бункерной сушилке.

Материалы и методы. В рассматриваемой статье применялись лабораторные методы исследования, основанные на определении факторов, влияющих на равномерность укладки слоя зерна в бункерной сушилке [9]. Для проведения исследований использовался центробежный рабочий орган, разработанный авторами. Равномерность укладки определялась на примере распределения зерен ячменя. При этом количество распределенного зерна по различным зонам определялось весовым методом.

Результаты. В процессе исследований был разработан рабочий орган для центробежного распределения семян зерновых культур в зерновой сушилке бункерного типа.

Разработанный рабочий орган, представленный на рис. 1, выполнен в виде плоского основания, на котором расположены лопатки различной длины.

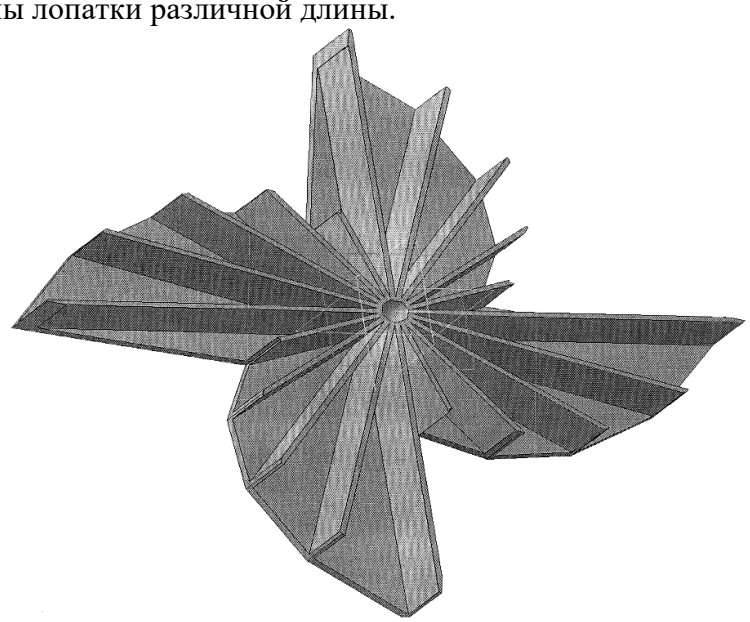


Рисунок 1 - Рабочий орган для распределения сыпучих материалов

Края лопаток выполнены под одинаковым углом. Такая конструкция центробежного разбрасывателя позволяет разделить поток зерна на порции во время его контакта с рабочим органом и направить каждую порцию на соответствующий ей участок ширины укладки. При полном обороте рабочего органа обеспечивается попадание зерна на лопатки, при этом они разделяют общий поток зерна на равные порции и способствуют раздельному движению порций по отдельным каналам. Различная длина лопаток способствует сходу зерна из отдельных каналов с различными скоростями и в разном направлении.

В результате этого создаются веера разброса, каждый из которых покрывает отдельный участок ширины распределения материала. В результате работы рабочего органа зерно укладывается в

бункере сушилки небольшими веерами разброса, при этом обеспечивается равномерная подача материала на отдельные участки.

Рабочий орган для распределения сыпучих материалов работает следующим образом. Зерновой ворох, падающий из подающего шнека сплошным потоком, подхватывается лопатками, расположенными на диске, и разделяется на несколько порций, каждая из которых движется под действием центробежной силы по отдельному каналу вдоль лопатки. Зерновой ворох движется в каждом канале до достижения их края самого короткого канала. После схода зернового вороха из короткого канала материал в следующих каналах продолжает движение, при достижении материала из второго по длине канала края лопатки рабочий орган поворачивается на небольшой угол, а зерновой ворох набирают большую скорость, таким образом создается веер с большим радиусом в другом направлении. Сход зернового вороха из последующих каналов аналогичен.

Из ранее опубликованных работ по схожим конструкциям центробежных разбрасывателей [10] известно, что изменение частоты вращения центробежного рабочего органа приводит к изменению дальности и ширины рассева частиц, а также к их перераспределению и смещению зоны повышенной плотности. Однако в условиях ограничения ширины разбрасывания внутренним диаметром бункера зерновой сушилки более важным является обеспечение равномерности распределения слоя зерна по объему бункера.

Согласно ранее опубликованным работам, дальность полета частиц можно определить по формуле [10, 11]:

$$L_x = \frac{ln(K_п \cdot V_{нач.} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g}} + 1)}{K_п}, \quad (1)$$

где $K_п$ – коэффициент парусности;

$V_{нач.}$ – скорость частицы при сходе с разбрасывающего органа, м/с;

H – высота разбрасывающего органа над поверхностью зерна, м;

g – ускорение свободного падения, м/с^2.

Скорость частицы при сходе с разбрасывающего органа принимаем равной линейной скорости края лопатки и определяем по формуле:

$$V_{нач.} = \omega \cdot r = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot r, \quad (2)$$

где ω– угловая скорость разбрасывающего органа, мин$^{-1}$;

r – длина лопатки, м;

n – частота вращения разбрасывающего органа, с$^{-1}$.

Отсюда, преобразовывая выражение (1) в более удобное для использования, получаем:

$$L_x = \frac{ln(K_п \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot r \cdot 0{,}452 \cdot \sqrt{H} + 1)}{K_п} = \frac{ln(K_п \cdot 0{,}105 \cdot n \cdot r \cdot 0{,}452 \cdot \sqrt{H} + 1)}{K_п}. \quad (3)$$

Таким образом, равномерность распределения частиц зерна по радиусу разбрасывания определяется соотношением длин лопаток распределяющего рабочего органа.

Для обеспечения равномерности распределения частиц зерна по всему радиусу распределения основание рабочего органа (см. рис.1) выполнено не в виде сплошного диска, а в виде четырех лопастей с лопатками.

Вследствие того, что вышеприведенная формула для определения дальности полета частиц зерна не учитывает ряд факторов, таких как: изменение коэффициента парусности (так как частицы занимают случайное положение в пространстве относительно траектории их полета), при движении происходит торможение частиц при их столкновениях в потоке и т.д., то для определения рас-

пределения зерна по отдельным участкам ширины укладки были проведены исследования при различной частоте вращения центробежного разбрасывателя.

Результаты исследований по определению распределения зерна по отдельным участкам ширины укладки материала в зависимости от частоты вращения центробежного разбрасывателя приведена на рис. 2.

Рисунок 2 - Закономерность распределения зерна по отдельным участкам ширины укладки материала в зависимости от частоты вращения центробежного разбрасывателя

Равномерность распределения зерна по зонам в процентном соотношении представлена на рис. 3

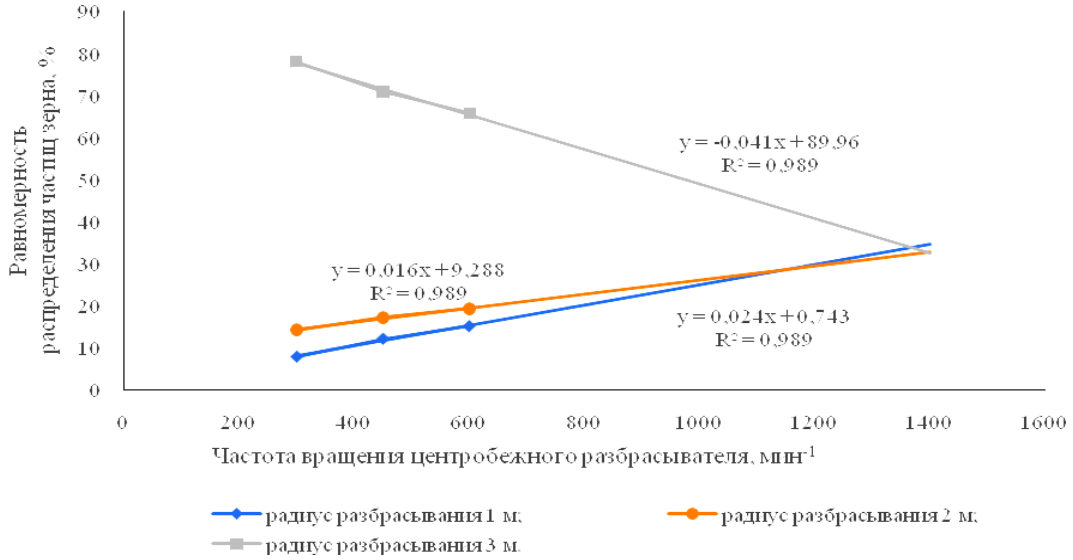


Рисунок 3 – Закономерность равномерности распределения зерна по отдельным участкам ширины укладки материала в зависимости от частоты вращения центробежного разбрасывателя.

Выводы. Анализ результатов исследований показал, что частота вращения центробежного разбрасывателя оказывает влияние как на дальность полета зернового вороха, так и на равномерность его распределения.

При этом повышение частоты вращения приводит к эффекту выравнивания равномерности распределения зерна по отдельным участкам укладки.

Выявлена закономерность распределения зерна на различных участках разбрасывания. Аппроксимация полученных данных с помощью программы MicrosoftExcell и прогнозирование дальнейшей равномерности распределения при изменении частоты вращения свидетельствуют о получении равномерности распределения до 96 % при повышении частоты вращения центробежного разбрасывателя до 1380-1400 мин$^{-1}$.

Список используемой литературы

1. Ганенко И. Зерновой рынок становится все депрессивнее. Итоги первой половины сезона 2022/23 // Агроинвестор. 2023. № 1. [Электронный ресурс]. https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/39543-zernovoy-rynok-stanovitsya-vse-depressivnee-itogi-pervoy-poloviny-sezona-2022-23/ (Дата обращения 01.02.2022)
2. Кувшинов В.В., Муханов Н.В., Кувшинов Е.В., Барабанов Д.В. Основные способы консервации влажного зерна // Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «Ивановская ГСХА имени Д.К. Беляева» (30 ноября 2020 г.). Иваново; ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА, 2020. С. 95-97.
3. Кувшинов В.В., Муханов Н.В., Кувшинов Е.В. Классификационный анализ зерносушилок // Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития
АПК России: Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, посвященной 100-летию высшего аграрного образования в Ивановской области (28-29 ноября 2018 г.). Иваново; ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА, 2018. – С. 831-835.
4. Терентьев В. В., Баусов А. М., Крупин А. В. Исследование антифрикционных свойств композиционных металлсодержащих материалов на полимерной матрице // Научное обозрение. 2012. № 1. С.16-20.
5. Мельников В.Г., Терентьев В.В. Композиционный триботехнический материал. Патент на изобретение RU 2293092 C1, 10.02.2007. Заявка № 2005141380/04 от 28.12.2005.
6. Терентьев В.В. Механизм трения и изнашивания плазмообработанных триботехнических композиций на основе полимеров// Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2011. № 2. С. 31-34.
7. Пат. 2432731 C2 Российская Федерация, МПК A01C 17/00, (2006.01). Рабочий орган центробежного разбрасывателя удобрений // Дьячков А.П., Баранов Ю.Н., Перегудов С.Т., Перегудов А.С., Тычинин А.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежский государственный аграрный университет имени К.Д. Глинки» (ФГОУ ВПО ВГАУ им. К.Д. Глинки). - № 2010101772/21; заявл. 20.01.2010; опубл. 10.11.2011. Бюл. № 31.
8. Пат. 2270550 C2 Российская Федерация, МПК A01C 17/00, (2006.01). Способ использования центробежного разбрасывателя удобрения [Текст] //Драйер Хайнц (DE); заявитель и патентообладатель Амазонен-верке Х. ГмбХунд Ко. КГ (DE) - №2002120916/12; заявл. 18.01.2001; опубл. 27.02.2006. Бюл. № 6.
9. Scheufle, B.; Bolwin, H. Ein satzempfehllunqen für die Mineral düngungunter Grossflächenbedinqun-qen. Aqrartechnik (Berlin). 1991. 41. № 3. S. 14-116.
10. Костенко М.Ю., Тетерин В.С., Панферов Н.С., Пехнов С.А., Сухоруков Д.С., Пехнов А.С. Теоретическое обоснование движения гранул минеральных удобрений после схода с разбрасывающего диска // Техника и оборудование для села. 2021. № 12. С. 25-28.

11. Кувшинов В.В., Кувшинов Е.В. Определение дальности полета частиц зернового вороха при работе центробежного распределителя // Наука и молодежь: Новые идеи и решения в АПК: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции (15-16 апреля 2022 г.). Иваново; ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА. 2022. С. 45-49.

References

1. Ganenko I. Zernovoy rynok stanovitsya vse depressivnee. Itogi pervoy poloviny sezona 2022/23 // Agroinvestor. 2023. №1. [Elektronnyy resurs].https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/39543-zernovoy-rynok-stanovitsya-vse-depressivnee-itogi-pervoy-poloviny-sezona-2022-23/ (Data obrashcheniya 01.02.2022)
2. Kuvshinov V.V., Mukhanov N.V., Kuvshinov Ye.V., Barabanov D.V. Osnovnye sposoby konservatsii vlazhnogo zerna // Agrarnaya nauka v usloviyakh modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya APK Rossii: Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchnoprakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 90-letiyu FGBOU VO «Ivanovskaya GSKhA imeni D.K. Belyaeva (30 noyabrya 2020 g.). Ivanovo: FGBOU VO Ivanovskaya GSKhA, 2020. S. 95-97.
3. Kuvshinov V.V., Mukhanov N.V., Kuvshinov Ye.V. Klassifikatsionnyy analiz zernosushilok // Agrarnaya nauka v usloviyakh modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya APK Rossii: Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 100-letiyu vysshego agrarnogo obrazovaniya v Ivanovskoy oblasti (28-29 noyabrya 2018 g.).– Ivanovo; FGBOU VO Ivanovskaya GSKhA, 2018. S. 831-835.
4. Terentev V. V., Bausov A. M., Krupin A. V. Issledovanie antifriktsionnykh svoystv kompozitsionnykh metallsoderzhashchikh materialov na polimernoy matritse // Nauchnoe obozrenie. 2012. № 1. S.16-20.
5. Melnikov V.G., Terentev V.V. Kompozitsionnyy tribotekhnicheskiy material. Patent na izobretenie RU 2293092 C1, 10.02.2007. Zayavka № 2005141380/04 ot 28.12.2005.
6. Terentev V.V. Mekhanizm treniya i iznashivaniya plazmoobrabotannykh tribotekhnicheskikh kompozitsiy na osnove polimerov// Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya. 2011. № 2. S. 31-34.
7. Pat. 2432731 S2 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A01S 17/00, (2006.01). Rabochiy organ tsentrobezhnogo razbrasyvatelya udobreniy // Dyachkov A.P., Baranov Yu.N., Peregudov S.T., Peregudov A.S., Tychinin A.A.; zayavitel i patentoobladatel Federalnoe gosudarstvennoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego professionalnogo obrazovaniya «Voronezhskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni K.D. Glinki» (FGOU VPO VGAU im. K.D. Glinki). № 2010101772/21; zayavl. 20.01.2010; opubl. 10.11.2011. Byul. № 31.
8. Pat. 2270550 S2 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A01S 17/00, (2006.01). Sposob ispolzovaniya tsentrobezhnogo razbrasyvatelya udobreniya [Tekst] //Drayer Khaynts (DE); zayavitel i patentoobladatel Amazonen-verke Kh. GmbKhund Ko. KG (DE) - №2002120916/12; zayavl. 18.01.2001; opubl. 27.02.2006. Byul. № 6.
9. Scheufle, B.; Bolwin, H. Ein satzempfehllunqen für die Mineral düngungunter Grossflächenbedinqunqen. Aqrartechnik (Berlin). 1991. 41. № 3. S. 14-116.
10. Kostenko M.Yu., Teterin V.S., Panferov N.S., Pekhnov S.A., Sukhorukov D.S., Pekhnov A.S. Teoreticheskoe obosnovanie dvizheniya granul mineralnykh udobreniy posle skhoda s razbrasyvayushchego diska // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2021.№ 12. S. 25-28.
11. Kuvshinov V.V., Kuvshinov Ye.V. Opredelenie dalnosti poleta chastits zernovogo vorokha pri rabote tsentrobezhnogo raspredelitelya // Nauka i molodezh: Novye idei i resheniya v APK: Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (15-16 aprelya 2022 g.). Ivanovo; FGBOU VO Ivanovskaya GSKhA. 2022. S. 45-49.

DOI: 10.35523/2307-5872-2023-42-1-91-96
УДК 631.362.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЗЕРНОВКУ ПРИ РАВНОУСКОРЕННОМ ДВИЖЕНИИ РЕШЁТ ВНИЗ, И ОРИЕНТИРОВОЧНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА НАКЛОНА ОБРАЗУЮЩЕЙ РЕШЁТ К ГОРИЗОНТАЛИ

Николаев В.А., ФГБОУ ВО Ярославский ТУ

Основным недостатком зерноочистительных машин, оснащённых прямоугольными решётами, является ограниченная пропускная способность. Чтобы преодолеть этот недостаток, предложена высокопроизводительная полуавтоматическая зерноочистительная машина с решётами, представляющими в совокупности перевёрнутый усечённый конус, совершающий вертикальные колебания. Ранее в результате анализа взаимодействия зерновки с вертикально колеблющимся решетом выявлены параметры траектории зерновки после первого касания решета полуавтоматической зерноочистительной машины. Определён профиль дорожки, на которую решёта опираются посредством роликов нижних. Вычислена угловая скорость корпуса полуавтоматической зерноочистительной машины и период колебания решёт, позволяющие осуществлять рациональную сепарацию зернового вороха. Для определения оптимального угла наклона решёт, соответствующего наклону к горизонтали образующей перевёрнутого усечённого конуса, необходим анализ кинематических и динамических параметров зерновки, попавшей на решето в различные периоды перемещения решёт, в частности, при равноускоренном движении решёт вниз. В результате расчётов пути перемещения зерновки вверх на участке равноускоренного движения решета вниз при различных углах наклона образующей решёт к горизонтали выявлены: зависимость перемещения зерновки вниз, вверх и общего перемещения зерновки за цикл относительно решета от угла наклона образующей решёт к горизонтали. Установлено, что если бы на зерновку действовала вся сила потока воздуха, то следовало бы рассматривать диапазон углов наклона образующей решёт к горизонтали от 30° до 32°.

Ключевые слова: *зерноочистительная машина, перевёрнутый усечённый конус, вертикально колеблющееся решето, взаимодействие зерновки с решетом, сила воздействия на зерновку, угол наклона решёт.*

Для цитирования*: Николаев В.А. Определение сил, воздействующих на зерновку при равноускоренном движении решёт вниз, и ориентировочное определение угла наклона образующей решёт к горизонтали // Аграрный вестник Верхневолжья. 2023. № 1. (42). С. 91-96.*

Введение. Основным недостатком зерноочистительных машин, оснащённых прямоугольными решётами, является ограниченная пропускная способность. Чтобы преодолеть этот недостаток, предложена высокопроизводительная полуавтоматическая зерноочистительная машина с решётами, представляющими в совокупности перевёрнутый усечённый конус, совершающий вертикальные колебания [1, с. 1-20]. В результате анализа взаимодействия зерновки с вертикально колеблющимся решетом [2, с. 92-102] выявлены параметры траектории зерновки после первого касания решета полуавтоматической зерноочистительной машины [3, с. 71-76]. Определён профиль дорожки [4, с. 64-70], на которую решёта опираются посредством роликов нижних [1, с. 1-20]. Вычислена угловая скорость корпуса полуавтоматической зерноочистительной машины и период колебания решёт [5, с. 69-74], позволяющие осуществлять рациональную сепарацию зернового вороха.

Ранее [6, с. 183-193] был проведён анализ перемещения зерновки вниз по решету в момент изменения направления движения решёт, когда они находятся в нижнем положении при равномерном движении решета вверх и в период изменения направления движения решета в верхнем поло-

жении. Для определения оптимального угла наклона решёт, соответствующего наклону к горизонтали образующей перевёрнутого усечённого конуса, необходим анализ параметров зерновки, попавшей на решето, при равноускоренном движении решёт вниз.

Цель исследования. Целью исследования является выявление оптимального угла наклона к горизонтали образующей перевёрнутого усечённого конуса, который образуют решёта полуавтоматической зерноочистительной машины.

Метод исследования. Анализ взаимодействия зерновки с вертикально колеблющимся решетом.

Результаты исследования. При равноускоренном движении решёт вниз зерновка движется вместе с решетом с ускорением, близким к ускорению свободного падения. Время равноускоренного движения решёт вниз $\tau_{р\,н} = 0{,}022$ с. Сила инерции зерновки на этом участке направлена вверх: $F_{j\,з\,н} = gm$;

$$F_{j\,з\,н} = 9{,}8 \cdot 3 \cdot 10^{-5} \approx 3 \cdot 10^{-4} \text{ Н}.$$

Она равна силе тяжести. Схема сил, воздействующих на зерновку при движении решета равноускоренно вниз, была бы аналогична схеме сил, воздействующих на зерновку в момент изменения направления движения решета в верхнем положении [6, с. 189-193], если бы не отсутствие воздействия потока воздуха R. Сила трения также отсутствует, поэтому зерновка будет равномерно перемещаться вверх по решету со скоростью, приобретённой в конце участка ускорения решёт при их движении вниз. Скорость перемещения зерновки вверх по решету

$$v_в = v_{в\,у} + a_{в\,з}\tau_{р\,н\,у}.$$

Например, когда угол наклона образующей решёт к горизонтали $\alpha = 27°$, скорость перемещения зерновки вверх по решету [6, с. 192]:

$$v_в = 0{,}0787 - 0{,}0616 \cdot 0{,}034 \approx 0{,}077 \text{ м/с}.$$

Перемещение зерновки вверх, когда угол наклона образующей решёт к горизонтали $\alpha = 25°$ и $26°$, пока не рассматриваем. В нижней точке траектории решёт зерновка мгновенно тормозится в связи с резким увеличением силы трения, и начинается её перемещение вниз по решету. Разность перемещений зерновки вниз и вверх по решету за один цикл колебания решёт показана в правом столбце таблицы.

Таблица – Результаты расчётов пути перемещения зерновки вверх на участке равноускоренного движения решета вниз при различных углах наклона образующей решёт к горизонтали

Угол α	Скорость зерновки	Время, $\tau_{р\,н}$	Путь, $s_{р\,н}$	Общий путь вверх, $s_{в\,\Sigma+}$	Общий путь вверх, $s_{в\,\Sigma+}$	Разность пути зерновки
град.	м/с	с	м	м	мм	мм
27	0,07666	0,022	0,001687	0,054001	54,0	-46,5
28	0,071673	0,022	0,001577	0,017262	17,2	-8,1
29	0,06816	0,022	0,0015	0,012189	12,1	-0,95
30	0,063173	0,022	0,00139	0,008871	8,8	4,9
31	0,05932	0,022	0,001305	0,007438	7,4	9,7
32	0,055807	0,022	0,001228	0,006527	6,5	15,0
33	0,04878	0,022	0,001073	0,005292	5,2	21,4
34	0,047307	0,022	0,001041	0,005095	5,0	29,2
35	0,043793	0,022	0,000963	0,00468	4,6	37,9

36	0,04028	0,022	0,000886	0,004327	4,3	50,3
37	0,036767	0,022	0,000809	0,00402	4,0	66,9
38	0,033253	0,022	0,000732	0,003748	3,7	93,7
39	0,02974	0,022	0,000654	0,003505	3,5	136,5
40	0,026227	0,022	0,000577	0,003284	3,2	230,6

На рисунке 1 показана зависимость перемещения зерновки вниз от угла наклона образующей решёт к горизонтали, на рисунке 2 – зависимость перемещения зерновки вверх от угла наклона образующей решёт к горизонтали, а на рисунке 3 – зависимость общего перемещения зерновки за цикл относительно решета от угла наклона образующей решёт к горизонтали.

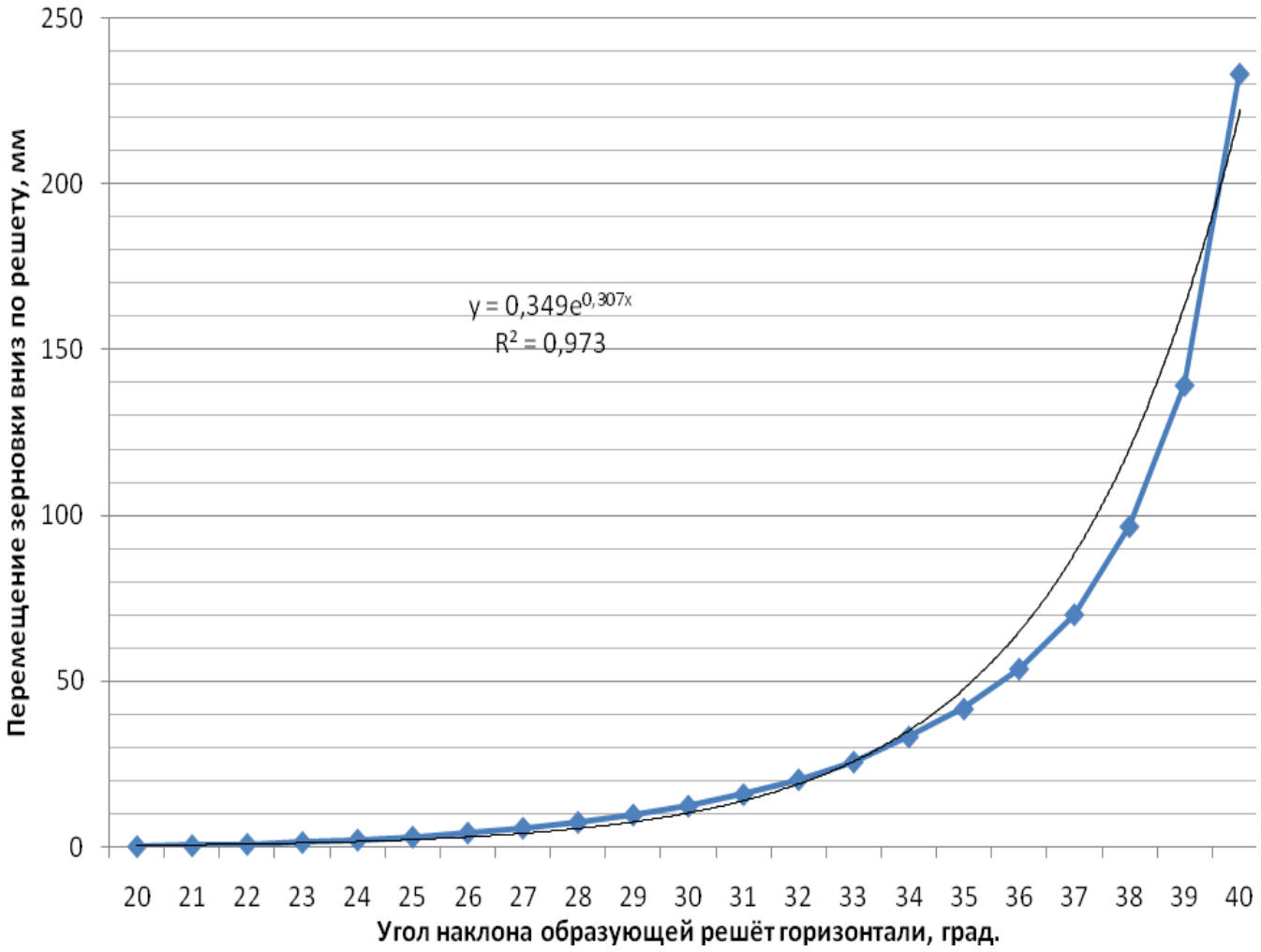


Рисунок 1 – Зависимость перемещения зерновки вниз за цикл колебания решёт от угла наклона их образующей к горизонтали

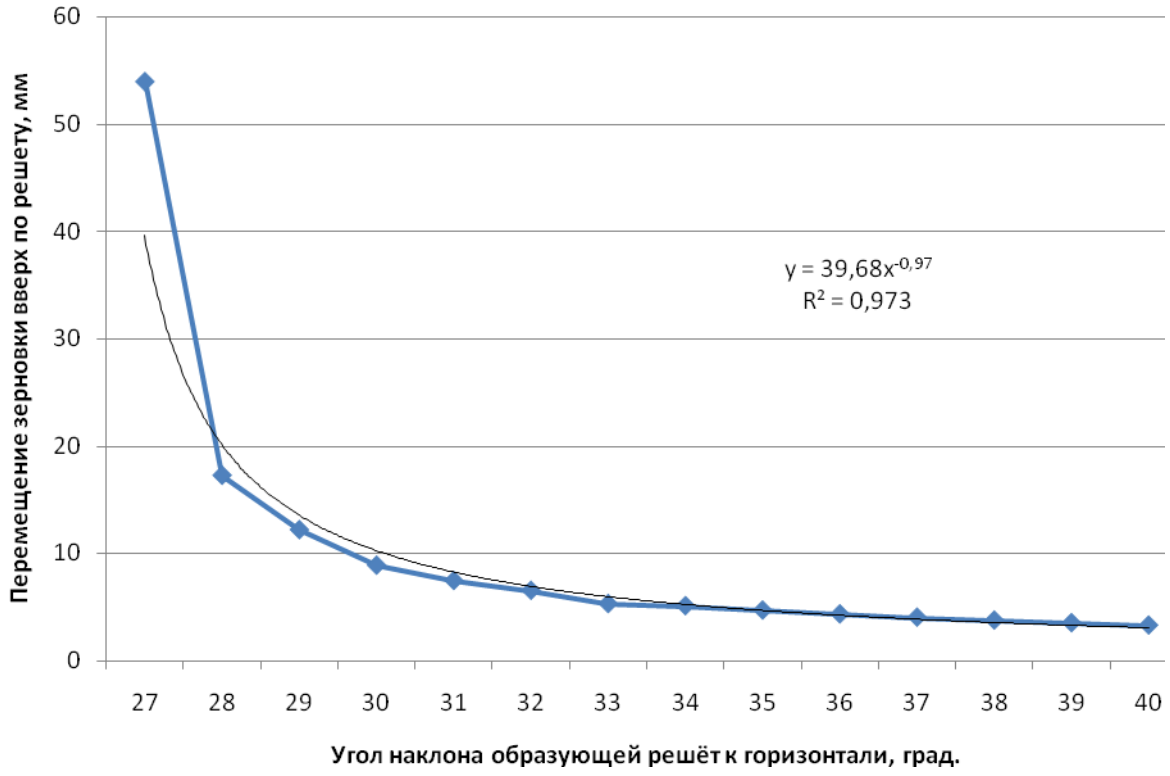


Рисунок 2 – Зависимость перемещения зерновки вверх за цикл колебания решёт от угла наклона их образующей к горизонтали

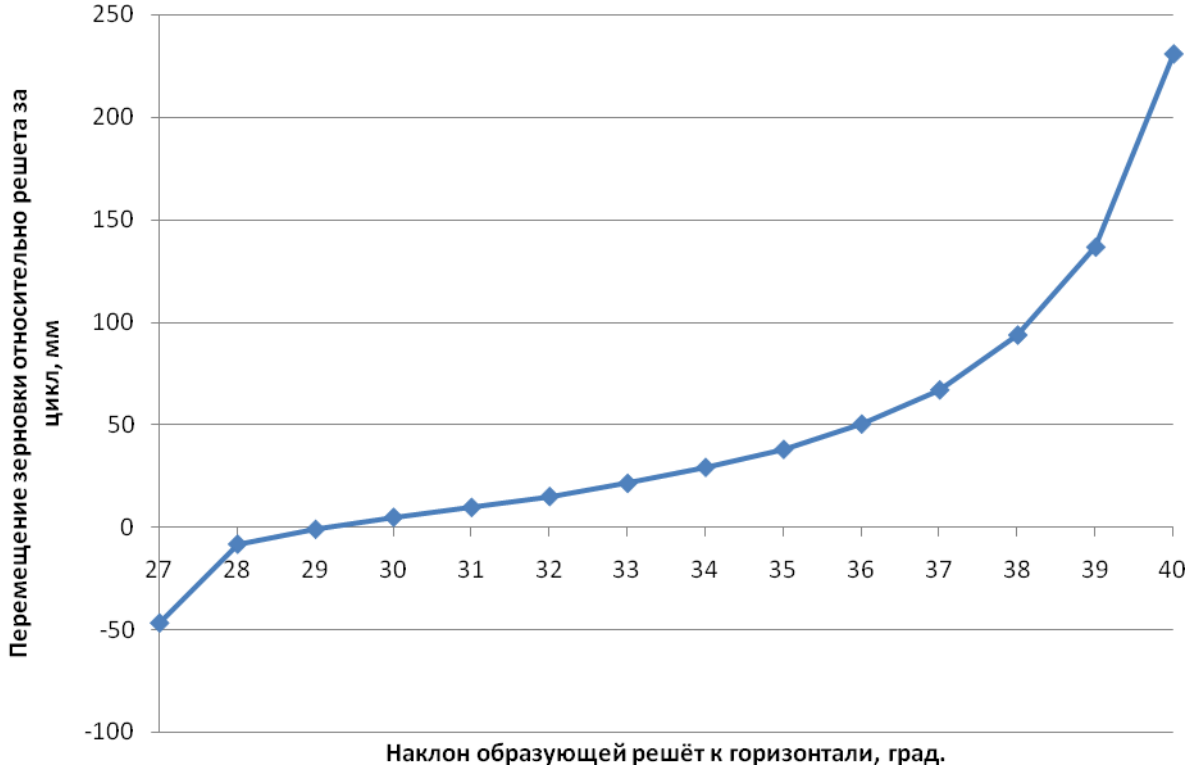


Рисунок 3 – Зависимость общего перемещения зерновки за цикл колебания решёт от угла наклона их образующей к горизонтали

Зависимость перемещения зерновки вниз от угла наклона образующей решёт к горизонтали можно с удовлетворительной точностью описать экспонентой

$$s_{н\,\Sigma} = 0{,}349e^{0{,}307\alpha}. \quad (1)$$

Зависимость перемещения зерновки вверх от угла наклона образующей решёт к горизонтали можно описать степенной зависимостью

$$s_{в\,\Sigma} = 39{,}68\alpha^{-0{,}97}. \quad (2)$$

Итак, если на зерновку действует вся сила $R = 1{,}31 \cdot 10^{-4}$ Н потока воздуха, то угол наклона образующих конических решёт к горизонтали должен превышать критический угол наклона $\alpha = 18{,}88°$ [6, с. 183-186]. Только при таком условии в момент изменения направления движения решёт в нижнем положении и начале движения решёт из нижнего положения вверх, зерновка будет перемещаться вниз по решётам. Из рисунка 1 видно, что чем больше угол наклона образующих конических решёт к горизонтали, тем больше перемещение зерновки за один цикл колебания решёт. Если угол наклона образующих конических решёт к горизонтали больше 33º, перемещение зерновки вниз по решётам за один цикл колебания решёт больше 25 мм. Большое перемещение зерновок также нежелательно в связи с ухудшением сепарации. Критический угол, при превышении которого зерновка начнёт перемещаться вниз по решету при равномерном движении решёт из нижнего положения вверх, $\alpha = 64{,}7°$ [6, с. 186-189]. Такой угол наклона образующих конических решёт к горизонтали чрезмерно велик. Поэтому перемещение зерновок вниз по решету при равномерном движении решёт из нижнего положения вверх не следует планировать.

В момент изменения направления движения решета в верхнем положении [6, с. 189-193] на участке увеличения ускорения решета при его движении вниз и на участке равноускоренного движения решета вниз зерновка перемещается вверх по решётам. Чем больше угол наклона образующих конических решёт к горизонтали, тем меньше перемещение зерновки за один цикл колебания решёт (см. рисунок 2).

Вывод. За один цикл колебания решёт, при оптимальном угле наклона образующей решёт к горизонтали, зерновки должны перемещаться как вниз, так и вверх по решётам, что способствует активной сепарации. Оптимальным будет такой угол наклона образующей решёт к горизонтали, при котором за один цикл колебания решёт зерновки преимущественно будут перемещаться вниз по поверхности решета (см. рисунок 3), но это перемещение будет нечрезмерным. Следовательно, если на зерновку действует вся сила $R = 1{,}31 \cdot 10^{-4}$ Н потока воздуха, то следует рассматривать диапазон углов наклона образующей решёт к горизонтали от $\alpha = 30°$ до $\alpha = 32°$. Однако только в начале сепарации на первый ряд зерновок, поступающих на решёта, действует вся сила потока воздуха. В ходе дальнейшего процесса сепарации поток воздуха обтекает лишь верхние части зерновок, расположенных слоем на решете. Для окончательного определения угла наклона образующей решёт к горизонтали необходимо исследовать взаимодействие зерновки с решётами с учётом изменения силы воздействия на зерновку потока воздуха.

Список используемой литературы

1. Николаев В.А. Патент РФ № 2623473. Полуавтоматическая зерноочистительная машина. Заявка №2016108555; заявл. 23.04.2015; опубл. 20.06.2017, бюл. № 18.

2. Николаев В.А. Определение параметров траектории зерновки при её падении на решето полуавтоматической зерноочистительной машины // Аграрный вестник Верхневолжья. № 4. 2019. С. 92-102.

3. Николаев В.А. Параметры траектории зерновки после касания решета полуавтоматической зерноочистительной машины // Аграрный вестник Верхневолжья. № 2. 2020. С. 71-76.

4. Николаев В.А. Определение параметров дорожки полуавтоматической зерноочистительной машины // Аграрный вестник Верхневолжья. № 1. 2021. С. 64-70.

5. Николаев В.А. Определение угловой скорости корпуса полуавтоматической зерноочистительной машины // Аграрный вестник Верхневолжья. № 3. 2021. С. 69-74.

6. Николаев В.А., Кряклина И.В. Очистка зерна от примесей и его предварительная сушка. Ярославль. Изд-во ФГОУ ВО ЯГСХА, 2017.

References

1. Nikolaev V.A. Patent RF № 2623473. Poluavtomaticheskaya zernoochistitelnaya mashina. Zayavka №2016108555; zayavl. 23.04.2015; opubl. 20.06.2017, byul. № 18.

2. Nikolaev V.A. Opredelenie parametrov traektorii zernovki pri ee padenii na resheto poluavtomaticheskoy zernoochistitelnoy mashiny // Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya. № 4. 2019. S. 92-102.

3. Nikolaev V.A. Parametry traektorii zernovki posle kasaniya resheta poluavtomaticheskoy zernoochistitelnoy mashiny // Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya. № 2. 2020. S. 71-76.

4. Nikolaev V.A. Opredelenie parametrov dorozhki poluavtomaticheskoy zernoochistitelnoy mashiny // Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya. № 1. 2021. S. 64-70.

5. Nikolaev V.A. Opredelenie uglovoy skorosti korpusa poluavtomaticheskoy zernoochistitelnoy mashiny // Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya. № 3. 2021. S. 69-74.

6. Nikolaev V.A., Kryaklina I.V. Ochistka zerna ot primesey i ego predvaritelnaya sushka. Yaroslavl. Izd-vo FGOU VO YaGSKhA, 2017.

DOI: 10.35523/2307-5872-2023-42-1-97-103
УДК 631.33

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА МАШИНЫ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ВНЕСЕНИЯ ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Смелик В.А., Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (ФГБОУ ВО СПбГАУ);
Давудзай М.А., Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (ФГБОУ ВО СПбГАУ)

Повышение урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур достигается за счет эффективного применения удобрений. Наибольший эффект от применения удобрений возрастает при их локальном внесении непосредственно в зону корнеобитаемого слоя растений. С целью снижения негативного воздействия средств химизации на окружающую среду, а также для получения качественной продукции, в последнее время получили приемы биологизации, которые предусматривают использование концентрированных органических удобрений, полученных методом биоферментации. Проведенный патентный поиск показал, что в настоящее время отсутствует машины, позволяющие эффективно и локально вносить в почву ферментированные сыпучие удобрения. В настоящей статье приведена информация о конструкции разработанной машины для локального внесения ферментированных органических удобрений. Машина предназначена для использования в гребневых технологиях, состоит из дозирующего устройства, предназначенного для подачи сыпучих удобрений локально в сформированные в почве борозды. Установленные в задней части машины диски заделывают открытую борозду с находящимися на её дне удобрениями. Позади дисков, на раме машины, установлен прикатывающий профильный каток. Профильным катком формируется гребень с упрочненным поверхностным слоем почвы, позволяющим длительное время сохранять форму гребня. Анализ технологического процесса машины для внесения ферментированных органических удобрений выполнен методами статистической динамики. Разработана информационная модель функционирования исследуемого технологического процесса, в соответствии с которой определены статистические оценки эффективности. Проведенные экспериментальные исследования показали работоспособность разработанной машины. Рассчитанные по результатам полевых экспериментальных исследований вероятностные оценки эффективности находились в пределах $P_{\beta kL}$ = 0,5 – 0,55, что ниже допускаемого минимального значения $|P_{\beta}|_{зад}$ = 0,7. Для дальнейшего повышения эффективности технологического процесса распределения сыпучих удобрений вдоль рядка необходимо продолжить работы по совершенствованию конструкции машины и предусмотреть использование устройств для контроля и управления технологическим процессом.

Ключевые слова: *машина для локального внесения удобрений, ферментированные удобрения, локальное внесение удобрений, модель функционирования, статистические оценки эффективности, повышение эффективности технологического процесса, параметры расчета статистических оценок эффективности.*

Для цитирования: *Смелик В.А., Давудзай М.А. Исследование рабочего процесса машины для локального внесения ферментированных органических удобрений // Аграрный вестник Верхневолжья. 2023. № 1. (42). С. 97-103.*

Введение. В последние годы все большее распространение получают биологизированные технологии возделывания, основанные на широком использовании органических удобрений. Традиционные технологии внесения органических удобрений отстают, а зачастую не соответствуют интенсификации сельскохозяйственного производства. При этом приготовлению и внесению орга-

нических удобрений в ряде сельскохозяйственных предприятий уделяется мало внимания. Из-за необходимости утилизации отходов животноводства на поля от ферм вывозится не подготовленный для внесения в почву навоз, не соблюдаются агротехнические сроки.

Эффективность использования отходов животноводства в качестве удобрения повышается при переработке их в концентрированное комплексное органическое удобрение. Одним из способов получения такого удобрения является биоферментация навоза и помета в специальных биореакторах [1, 2]. По технологии, разработанной в научно-исследовательском институте агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ на специальном биоферментаторе, получают высокопитательное сыпучее удобрение под маркой «Биагум».

Дозы внесения такого удобрения варьируют от 2 до 8,5 т/га в зависимости от возделываемой культуры и технологии. В настоящее отсутствуют технические средства, способные эффективно и равномерно вносить удобрения. Рядом ученых ведутся исследования по разработке машин для работы с такими удобрениями [3].

Цель исследования. Исследования проводились с целью анализа технологического процесса внесения сыпучих ферментированных органических удобрений разработанной машиной.

Объект и методы исследований. В качестве объекта исследований принят разработанный нами экспериментальный вариант машины для локального внесения сыпучих органических удобрений. Машина агрегатируется с трактором тягового класса 1,4 и предназначена для локального внесения сыпучих органических удобрений в гребневых биологизированных технологиях возделывания картофеля. Использовались вероятностно-статистические методы исследования сельскохозяйственных машин как сложных динамических систем.

Результаты исследований и их обсуждение. На рисунке 1 представлена технологическая схема исследуемой машины для локального внесения ферментированных органических удобрений. Машина состоит из бункера 1 для удобрений, под бункером установлены ролики с транспортирующей лентой 2. Привод в работу транспортирующей ленты осуществляется от опорно-приводного колеса 3 цепной передачей через передаточный механизм 4. Для направления потока удобрений к месту внесения служит делитель 5. Для формирования борозды, в которую вносятся удобрения, на машине установлены бороздообразователи 6. Внутрь борозды удобрения заделывают диски 7, которые формируют гребень для последующей посадки картофеля. Для сохранения формы гребня и формирования требуемой его плотности на машине установлен активный профильный каток 8, приводимый в работу от гидромотора 9.

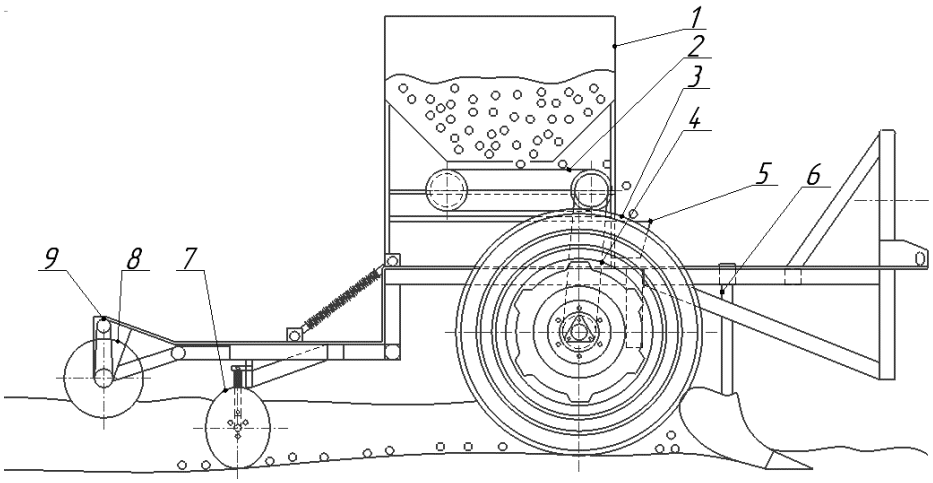


Рисунок 1 - Технологическая схема машины для локального внесения сыпучих органических удобрений

Работает машина следующим образом. При движении по полю в агрегате с трактором тягового класса 1,4 вращение от опорно-приводного колеса 3 передаётся на транспортирующую ленту 2. Удобрения 2 из бункера 1 поступают на транспортирующую ленту 3, далее через делитель 5 удобрения поступают в открытую борозду, сформированную бороздообразователями 6 и заделываются дисками 7. Сформированный гребень упрочняется активным профильным катком 8.

Агрегат позволяет упрочнить гребень с повышением его сопротивляемости эрозионным процессам почвы. Так же, изменяя угол атаки дисков и расстояние между ними, можно изменять форму гребня, адаптируя гребневую поверхность к вариабельности почвенно-климатических условий. Расчеты основных параметров машины базировались на классической теории расчета и конструирования сельскохозяйственных машин [4].

Для анализа технологического процесса работы машины и проведения экспериментальных исследований была составлена информационная модель (рис. 2). В связи с вероятностной природой внешних условий работы машины, имеющих вероятностную природу, модели построены в виде динамических систем, по принципу «вход-выход», по методике, предложенной профессором А.Б. Лурье [5] и продолженной в трудах его последователей [6, 7, 8].

Используя такой подход, информационную модель технологического процесса машину для локального внесения сыпучих органических удобрений можно представить в виде системы (рис. 1), на входе которой действует вектор-функции условий работы (внешних возмущений): **X,** при управляющем воздействии, **B** формируется вектор – функция выходных показателей **Y,** характеризующих результат работы машины, по которому можно проводить оценку эффективность технологического процесса [6, 7, 8].

Рисунок 2 - Информационная (общая) модель машины для локального внесения органических удобрений:

X – вектор-функция входных параметров: υ(t) – скорость движения; $Z_п(t)$ – неровности поверхности поля; $R_п(t)$ – твёрдость почвы; $Q_{уб}(t)$ – подача удобрений из бункера. **B** – вектор-функция неуправляемых параметров: $H_б(t)$ – уровень материала в бункере; $E_к(t)$ – буксование колёс. **Y** – вектор-функция выходных параметров: $k_L(t)$ – равномерность распределения удобрений в гребне; $H_у(t)$ – глубина заделки удобрений в гребне; $H_г(t)$ – высота гребня; $\rho_г(t)$ – плотность почвы в гребне.

Синтез математических моделей при таком подходе возможен методом идентификации по экспериментальной информации о входах и выходах модели на основании следующей зависимости:

$$\boldsymbol{Y} = A_{\text{млву}}\,[\boldsymbol{X}, \boldsymbol{B}] \qquad (1)$$

В представленном виде оператор $A_{млву}$ имеет математический смысл и является математической моделью машины для локального внесения удобрений.

Такая модель удобна для анализа и синтеза математических моделей технологического процесса исследуемой машины [5, 8].

По экспериментальной информации о входных и выходных показателях каждой j-ой частной модели возможно получить их математические модели, как:

$$A_{\text{млву}} = \frac{\boldsymbol{Y}}{\boldsymbol{X}*\boldsymbol{B}}, \qquad (2)$$

В качестве выходных показателей эффективности функционирования машины для внутрипочвенного внесения органических удобрений принимаем: $k_L(t)$ - равномерность распределения удобрений в гребне, глубину заделки удобрений в гребне $H_y(t)$, высоту гребня $H_г(t)$ и плотность почвы в гребне $\rho_г(t)$.

По рекомендациям [5, 7] оценками эффективности технологического процесса машины для внесения удобрений приняты средние относительные длительности P_β пребывания соответствующих показателей эффективности в поле заданных агротехнических допусков β_j. Что можно формализовать следующим образом:

$$P_{\beta kL} = P\{(1-\beta_{kL})k_L^{н} \le k_L(t) \le (1+\beta_{kL})k_L^{н}\};$$
$$P_{\beta Hy} = P\{(1-\beta_{Hy})H_y^{н} \le H_y(t) \le (1+\beta_{Hy})H_y^{н}\};$$
$$P_{\beta Hг} = P\{(1-\beta_{Hг})H_г^{н} \le H_г(t) \le (1+\beta_{Hг})H_г^{н}\};$$
$$P_{\beta\rho г} = P\{(1-\beta_{\rho г})\rho_г^{н} \le \rho_г(t) \le (1+\beta\rho_г)\rho_г^{н}\}, \qquad (3)$$

где: $k_L^{н}$, $H_y^{н}$, $H_г^{н}$, $\rho_г^{н}$ – настроечные значения соответствующих показателей.

Учитывая соотношения (3), эффективность работы машины для внесения удобрений обеспечивается при условии $P_{\beta j} \ge |P_\beta|_{зад}$. Причем рекомендуемая $|P_\beta|_{зад} = 0{,}7$ [5].

Для определения параметров вычисления оценок эффективности были проведены экспериментальные исследования разработанной и изготовленной машины для локального внесения сыпучих удобрений. В ходе эксперимента были получены реализации случайных процессов в соответствии с представленной на рисунке 1 информационной моделью.

Непрерывные реализации процессов необходимо было преобразовать в дискретный вид квантованием по времени или пути. Шаг квантования по времени Δt и интервал T наблюдения за процессом связаны вместе соотношением $T=N\Delta t$, где N - количество измерений [7]. Для процесса $k_L(t)$ равномерности распределения удобрений в гребне удобнее шаг квантования увязывать с перемещением машины. Если за шаг квантования принять некоторое расстояние $\Delta 1$, проходимое агрегатом в процессе выполнения агротехнической операции, то интервал наблюдения за процессом (длина реализации) в единицах пути может быть определен как $L=N\Delta l$.

Шаг квантования Δt выбран на основании условия $\Delta t \le \pi/\omega_в$, где $\omega_в$ - максимальная частота в спектре процесса [7, 8]. Для исследуемых процессов $\omega_в$ находится в пределах $\omega_в$=25-35 c^{-1}, что соответствует шагу Δt=0,10-0,05 c. Шаг квантования процессов по пути Δl связан с шагом квантова-

ния по времени Δt соотношением $\Delta l = v_a \times \Delta t$, где v_a - рабочая скорость движение агрегата. Для диапазона рабочих скоростей исследуемых машин и агрегатов v_a=1,4-2,0 *м/с* – Δl=0,05- 0,20 *м*.

Поскольку полученная при экспериментах информация о процессах работы исследуемой машины ограничена интервалом наблюдения *L* или *T*, а в дискретном виде и количеством измерений *N*, то эти данные представляют собой некоторую выборку из совокупности всех возможных значений измеренного показания. В связи с этим возникает необходимость выбора длины реализации процесса, достаточной для вычисления достоверных статистических характеристик и оценок эффективности [7].

На рисунке 3 представлены полученные по результатам проведенных экспериментальных исследований графики зависимости оценок математических ожиданий m_{kL} и средних квадратических отклонений σ_{kL} от длины реализации *L* реализаций процесса $k_L(t)$ равномерности распределения удобрений в гребне.

На графиках видно, что после L_o≈11-12 м значения оценок σ_x* стабилизируются и при $L>L_o$, изменяются незначительно. На основании чего можно сделать заключение о достаточной сходимости оценок с их истинными значениями. В связи с этим достаточная точность и надежность оценок характеристик показателей работы машины обеспечивается на интервале наблюдения L≥12 м. При Δl=0,1 м N_o=120.

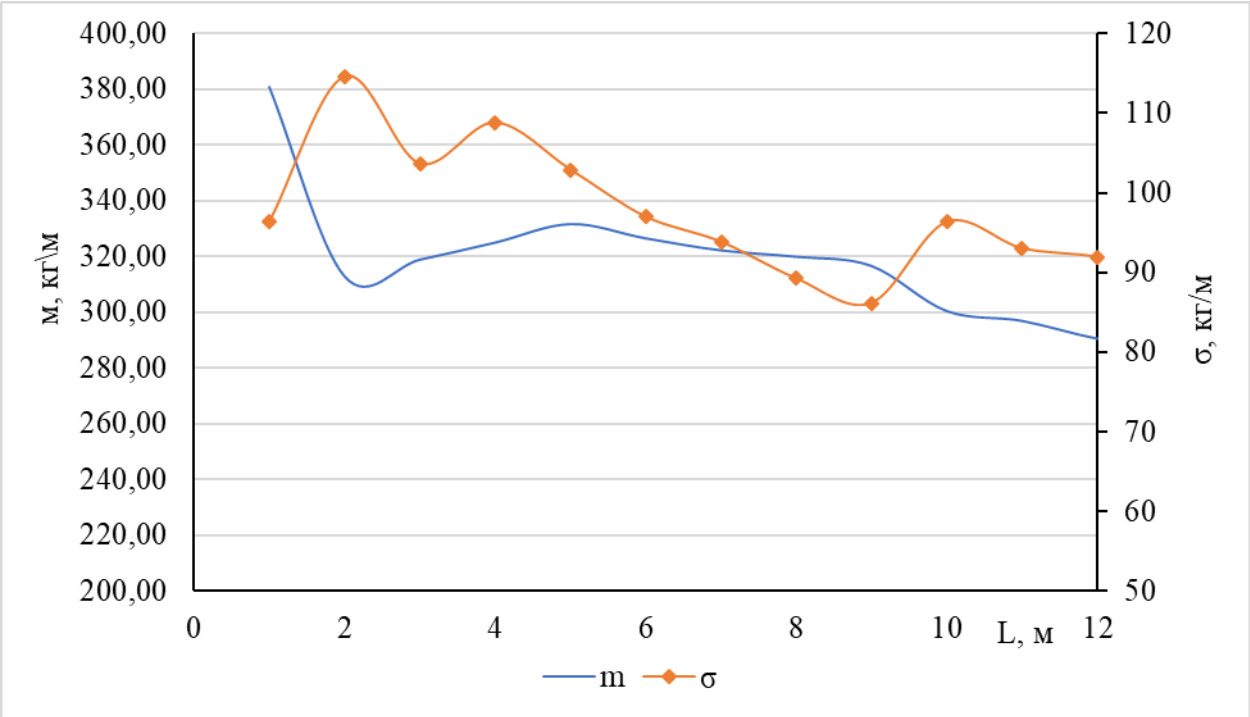


Рисунок 3 - Графики зависимости оценок математических ожиданий m_{kL} и средних квадратических отклонений σ_{kL} от длины реализации *L* реализаций процесса $k_L(t)$ равномерности распределения удобрений в гребне

В таблице приведены некоторые статистические характеристики показателя равномерности распределения удобрений вдоль рядка $k_L(t)$.

Исследуемый процесс характеризуется достаточно высокой неравномерностью, коэффициент вариации V_{kL} процесса $k_L(t)$ находится в пределах от 24, 36 до 32,04 %.

Таблица - Статистические характеристики равномерности распределения сыпучих ферментированных органических удобрений вдоль рядка $k_L(t)$, г/м

Номер реализации	Характеристики процесса $k_L(t)$		
	m_{kL}	σ_{kL}	V_{kL}, %
1	300,65	96,34	32,04
2	288,7	88,92	30,80
3	286,25	86,73	30,30
4	277,05	83,00	29,96
5	272,35	71,64	26,30
6	267,8	65,23	24,36
7	277,25	75,87	27,36
8	283,75	78,56	27,69
9	291,6	86,38	29,62

Вычисленные в соответствии с условиями (3) оценки эффективность $P_{\beta kL}$ работы машины для внесения удобрений находились в пределах от 0,5 до 0,55, что ниже установленного значения $|P_\beta|_{зад} = 0,7$.

Заключение. Исследования подтвердили работоспособность разработанной машины для локального внесения сыпучих ферментированных органических удобрений. Однако эффективность распределения удобрений вдоль рядка дозирующей системой разработанной машиной ещё не в полной мере отвечает предъявляемым агротехническим требованиям. Полученные оценки эффективности $P_{\beta kL} = 0,5 – 0,55$ ниже допускаемого минимального значения $|P_\beta|_{зад} = 0,7$. Для повышения равномерности распределения сыпучих удобрений вдоль рядка необходимо разработать мероприятия по совершенствованию конструкции машины и использованию устройств контроля и управления технологическим процессом.

Список используемой литературы

1. Евдокимова Н.А., Захаров А.М., Максимов Д.А. Технологии органического производства сельскохозяйственной продукции растениеводства в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации: Материалы международного проекта EFSOA. «Экологически дружественное умное органическое сельское хозяйство» / Санкт-Петербург: Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 2021.

2. Uvarov R, Briukhanov A, Subbotin I, Shalavina E. Disinfection of solid fraction of cattle manure in drum-type bio-fermenter // Agronomi Research. 2017. T. 15. № 3. P. 915–920.

3. Захаров А.М., Мурзаев Е.А., Иванов Д.Ю. Обоснование конструктивных параметров дозирующей системы машины для внесения компостов. // АгроЭкоИнженерия, 2022. № 2 (111). С. 73 – 83.

4. Бердышев В.Е., Ерошенко Л.И., Калинин А.Б., Новиков М.А., Ружьев В.А., Смелик В.А, Теплинский И.З. Сельскохозяйственные машины. Практикум: учебное пособие под редакцией М.А. Новикова. СПб: Проспект Науки, 2022.

5. Лурье А.Б., Еникеев В.Г., Теплинский И.З., Смелик В.А. Сельскохозяйственные машины (Машины для обработки почвы, посева, посадки, внесения удобрений и химической защиты растений) (учебное пособие). Санкт-Петербург: СПбГАУ, 1998.

6. Смелик В.А., Теплинский И.З., Первухина О.Н., Теплинский О.Н. Методология оперативной оценки состояния технологической системы при выполнении работ по химизации в сельскохозяйственной производственной среде // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 40. С. 274 – 280.

7. Смелик В.А. Технологическая надежность сельскохозяйственных агрегатов и средства ее обеспечения. Ярославль, 1999.

8. Смелик В.А. Информационное обеспечение процедур совершенствования эффективности функционирования средств механизации трудоемких процессов земледелия методами статистической динамики // Известия Международной академии аграрного образования. 2012. № 13-2. С. 87–92.

References

1. Yevdokimova N.A., Zakharov A.M., Maksimov D.A. Tekhnologii organicheskogo proizvodstva selskokhozyaystvennoy produktsii rastenievodstva v usloviyakh Severo-Zapadnogo regiona Rossiyskoy Federatsii: Materialy mezhdunarodnogo proekta EFSOA. «Ekologicheski druzhestvennoe umnoe organicheskoe selskoe khozyaystvo» / Sankt-Peterburg: Institut agroinzhenernykh i ekologicheskikh problem selskokhozyaystvennogo proizvodstva – filial Federalnogo gosudarstvennogo byudzhetnogo nauchnogo uchrezhdeniya «Federalnyy nauchnyy agroinzhenernyy tsentr VIM», 2021.

2. Uvarov R, Briukhanov A, Subbotin I, Shalavina E. Disinfection of solid fraction of cattle manure in drum-type bio-fermenter // Agronomi Research. 2017. T. 15. № 3. P. 915–920.

3. Zakharov A.M., Murzaev Ye.A., Ivanov D.Yu. Obosnovanie konstruktivnykh parametrov doziruyushchey sistemy mashiny dlya vneseniya kompostov. // AgroEkoInzheneriya, 2022. № 2 (111). S. 73 – 83.

4 Berdyshev V.Ye., Yeroshenko L.I., Kalinin A.B., Novikov M.A., Ruzhev V.A., Smelik V.A, Teplinskiy I.Z. Selskokhozyaystvennye mashiny. Praktikum: uchebnoe posobie pod redaktsiey M.A. Novikova. SPb: Prospekt Nauki, 2022.

5. Lure A.B., Yenikeev V.G., Teplinskiy I.Z., Smelik V.A. Selskokhozyaystvennye mashiny (Mashiny dlya obrabotki pochvy, poseva, posadki, vneseniya udobreniy i khimicheskoy zashchity rasteniy) (uchebnoe posobie). Sankt-Peterburg: SPbGAU, 1998.

6. Smelik V.A., Teplinskiy I.Z., Pervukhina O.N., Teplinskiy O.N. Metodologiya operativnoy otsenki sostoyaniya tekhnologicheskoy sistemy pri vypolnenii rabot po khimizatsii v selskokhozyaystvennoy proizvodstvennoy srede // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 40. S. 274 – 280.

7. Smelik V.A. Tekhnologicheskaya nadezhnost selskokhozyaystvennykh agregatov i sredstva ee obespecheniya. Yaroslavl, 1999.

8. Smelik V.A. Informatsionnoe obespechenie protsedur sovershenstvovaniya effektivnosti funktsionirovaniya sredstv mekhanizatsii trudoemkikh protsessov zemledeliya metodami statisticheskoy dinamiki // Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya. 2012. № 13-2. S. 87–92.