

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПНЕВМОСЕПАРИРОВАНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СЕМЯН ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

¹Д.А. Яковлев, кандидат технических наук, доцент

²Р.Е. Прокопчук, кандидат технических наук

²В.Н. Кузнецов, кандидат технических наук, доцент

²А.А. Мороз, аспирант

³Д.П. Гребенюк, аспирант

¹Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

²Алтайский государственный аграрный университет, Барнаул, Россия

³Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, п.п. Краснообск, Новосибирской обл., Россия

E-mail: dyagro@yandex.ru

Ключевые слова: семена, подготовка семенного материала, удельный вес семян, пневмосепарирование, скорость витания пшеницы.

Реферат. Объектом исследования является процесс формирования урожая яровой пшеницы после посева семенами, выделенными на скоростях витания 9, 10, 11 м/с. Цель работы – повышение качества посевного материала на основе пневмосепарирования и урожая яровой пшеницы. В ходе исследований на лабораторном пневмокласификаторе Petkus K-293 проводилось разделение зерна на фракции при скоростях витания в диапазоне 9–11 м/с с шагом дискретизации 1 м/с. Для определения влияния семян, имеющих различную скорость витания, на рост и развитие растений, а также на урожайность и качество полученного зерна в период с 2020 по 2023 г. на базе учебно-опытной сельскохозяйственной станции Алтайского ГАУ были проведены исследования, для которых был выбран наиболее распространенный и районированный в Алтайском крае элитный сорт мягкой пшеницы Алтайская жница. Были проведены сравнительные посева яровой пшеницы фракциями, выделенными на скоростях витания 9, 10, 11 м/с. В процессе работы проведена качественная и количественная оценка семенного материала яровой пшеницы и её урожая, также были проведены наблюдения за фазами развития растений в период вегетации и условиями их произрастания. Основным показателем семенного материала является удельный вес семян. В ходе обработки результатов исследований наблюдалась линейная зависимость удельной массы семян и их урожайности. Технология подготовки семян путем пневмокласификации может быть внедрена в производство после проведения дополнительных уточняющих исследований по дифференциации нормы высева в рамках одной выделенной фракции.

EFFICIENCY OF SPRING WHEAT SEEDS PREPARATION BY AIR SEPARATION

¹D. Iakovlev, PhD in Engineering, Associate Professor

²R. Prokopchuk, PhD in Engineering

²V. Kuznetsov, PhD in Engineering, Associate Professor

²A. Moroz, postgraduate student

³D. Grebenyuk, postgraduate student

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

²Altai State Agrarian University, Barnaul, Russia

³Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

E-mail: dyagro@yandex.ru

Keywords: seeds, seed material preparation, seeds specific weight, pneumoseparation, wheat soaring speed.

Abstract: The object of the study is the process of formation of the spring wheat harvest after sowing with seeds isolated at soaring speeds of 9, 10, 11 m/s. The purpose of the work is to improve the quality of seed material and spring wheat harvest based on pneumatic separation. During the research, using a Petkus K-293 laboratory pneumatic classifier, grain was separated into fractions at soaring speeds in the range of 9–11 m/s with a sampling step of 1 m/s. To determine the effect of seeds with different soaring speeds on the growth and development of

plants, as well as on the yield and quality of the resulting grain, studies were carried out in the period from 2020 to 2023 on the basis of the educational and experimental agricultural station of the Altai State Agrarian University. The most common and zoned variety in the Altai region, the elite soft wheat variety Altai Zhnitsa, was chosen. Comparative sowings of spring wheat were carried out with fractions isolated at soaring speeds of 9, 10, 11 m/s. In the process of work, a qualitative and quantitative assessment of the seed material of spring wheat and its harvest was carried out, observations were also made of the phases of plant development during the growing season and the conditions of their growth. The main indicators of seed material are their specific gravity; during the processing of the results, a linear relationship between the specific gravity of seeds and their yield was observed. The technology of seed preparation by pneumatic classification can be introduced into production after additional clarifying studies on differentiating the seeding rate within one selected fraction.

В настоящее время вопрос качества семенного материала яровой пшеницы достаточно актуален, от этого зависит будущая урожайность и, как следствие, продовольственная безопасность нашей страны. Важными приемами, способствующими получению семян, обладающих высокими посевными качествами, является тщательная очистка и сортировка зерна. На сегодняшний день при подготовке семенного материала зерновой ворох разделяют по размеру, массе и аэродинамическим свойствам при помощи решет, воздушного потока и вибрации. Зачастую такие зерноочистительные машины бывают комбинированными и сочетают в себе все перечисленные способы сортировки [1, 2].

Процесс сортирования зерна при помощи воздушного потока представляет особый интерес, поскольку позволяет разделять семена по удельному весу, отделяя щуплые и слабые зерна из посевного материала. Работающие по данному принципу машины разделяют зерновой ворох на фракции в горизонтальном или вертикальном воздушном потоке. Движение зерновок в воздушном потоке зависит от их массы, формы, площади миделевого сечения и скорости воздушного потока [3–7].

По результатам множества отечественных и зарубежных исследований известно, что при подготовке семенного материала наиболее крупные и тяжелые семена предпочтительнее, поскольку они обладают лучшей энергией прорастания, лабораторной и полевой всхожестью, а главное, наибольшим потенциалом для получения высоких урожаев зерна высокого качества и класса [8–10].

В соответствии с этим целью нашего исследования является повышение качества посевного материала на основе пневмосепарирования и урожая яровой пшеницы.

В ходе исследования необходимо было решить следующие задачи:

1) провести лабораторные исследования по определению качества семенного материала яровой пшеницы путем пневмокласификации на различных скоростях витания;

2) провести закладку полевого опыта семенами яровой пшеницы, разделенными на фракции по скорости витания;

3) исследовать влияние качества семян яровой пшеницы на структуру урожая и качество зерна;

4) обосновать требуемые параметры качества семян яровой пшеницы и технологию их получения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования для определения влияния семян, имеющих различную скорость витания, на рост и развитие растений, а также на урожайность и качество полученного зерна были проведены в период с 2020 по 2023 г. [11–14].

В ходе исследований проводилось разделение зерна на фракции при скоростях витания в диапазоне 9–11 м/с с шагом дискретизации 1 м/с. Скорость витания пшеницы – это скорость потока воздуха, при которой сила тяжести зерновки уравновешивается силой сопротивления воздуха. Указанный диапазон скоростей витания пшеницы соответствует среднему, установленному многими исследователями, – 8,9–11,5 м/с.

Для проведения исследований был выбран наиболее распространенный и районированный в Алтайском крае элитный сорт мягкой пшеницы Алтайская жница, полученный от семеноводческого предприятия и имеющий

соответствующие сертификаты. Разделение зерна по фракциям проводилось на лабораторном пневмокласификаторе Petkus K-293 (рис. 1). Данный пневмокласификатор позволяет обеспечить конкретно заданную скорость воздушного потока по всей площади сепарации канала, что улучшает качество фракционирования. Процесс работы машины протекает следующим образом: зерновой ворох загружается в бункер-питатель, в нижней части которого установлен вибропитатель, который подает материал в вертикальный воздушный поток.

Фракции, имеющие наибольшую массу, опускаются вниз и накапливаются в приемнике крупной фракции, а более легкие выдуваются воздушным потоком, одна их часть уходит в осадочную камеру, а другая – в приемник мелкой фракции [15, 16].

Результаты разделения семян по фракциям (рис. 2) на разных скоростях витания показали, что в 1 кг содержится наибольшее количество семян (41,2 %), выделенных на скорости витания 9 м/с, а наименьшее (1,4 %), – на скорости ниже 9 м/с.



Рис. 1. Пневмокласификатор Petkus K-293
Pneumatic classifier Petkus K-293

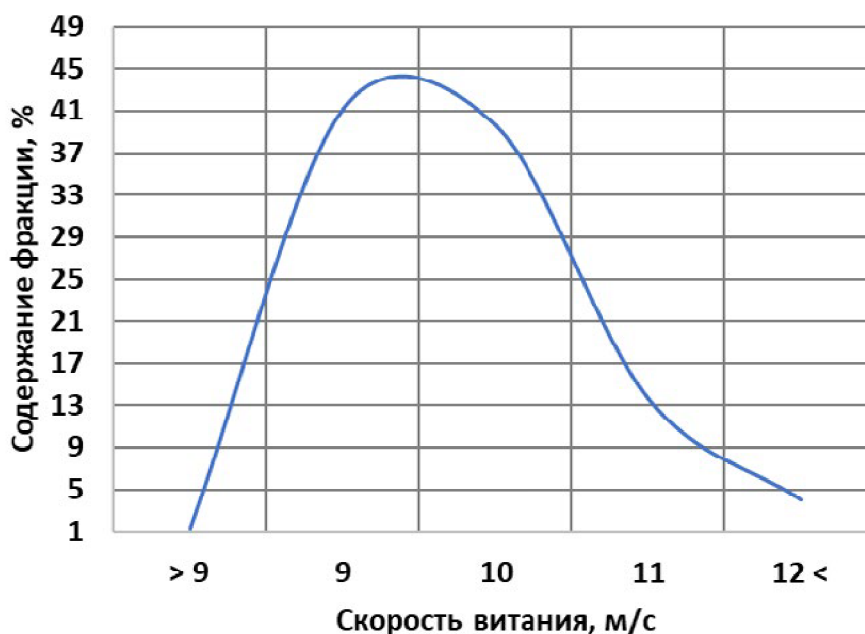


Рис. 2. Экспериментальная зависимость содержания фракций в 1 кг семян от скорости витания
Experimental dependence of the content of fractions in 1 kg of seeds on the soaring speed

При росте скорости витания выделяются наиболее крупные семена, из этого следует, что связь массы и скорости витания линейная. Наибольшей массой обладают семена, выделенные на скорости витания 11 м/с при средней массе 1000 семян 47,2 г, а наименьшей – исходные семена, принятые за контроль при средней массе 1000 семян 36,9 г.

Для определения влияния семян, имеющих различную скорость витания, на рост и развитие растений, а также на урожайность и качество полученного зерна с 2020 по 2023 г. проводились полевые опыты на базе учебно-опытной сельскохозяйственной станции Алтайского ГАУ.

Качественные показатели зерна определялись в соответствии с ГОСТ Р 71208-2024 при помощи инфракрасного анализатора «ИнфРАЛЮМ ФТ-12».

В результате проведения лабораторных исследований посевного материала была принята норма высева семян 4 млн шт/га, соот-

ветствующая региональным рекомендациям агрономов-технологов. Весовые нормы высева рассчитаны в соответствии с массой 1000 семян, определенной для каждой выделенной фракции и составили для контроля – 148 кг/га; 9 м/с – 177 кг/га; 10 м/с – 186 кг/га; 11 м/с – 189 кг/га.

Деляночные опыты закладывались на поле площадью 72 га. Общая площадь, занимаемая делянками – 792 м² (12 делянок по 66 м²). Тип почвы на опытном поле – выщелочные черноземы. Предшественник – пар. С осени поле не обрабатывалось, весной проводилось раннее весеннее боронование с целью закрытия влаги, предпосевная культивация почвы непосредственно перед посевом на его глубину, которая составляла 5 см. Каждый вариант был заложен в трёхкратной повторности, делянки были расположены в соответствии с методом рандомизации по методике Б.А. Доспехова. Схема полевого опыта представлена в табл. 1.

Таблица 1

Схема закладки полевого опыта
Scheme of setting up a field experiment

№ Делянки	Вариант
1	2
1	Контроль
2	11 м/с

1	2
3	10 м/с
4	9 м/с
5	10 м/с
6	Контроль
7	9 м/с
8	11 м/с
9	Контроль
10	10 м/с
11	11 м/с
12	9 м/с

Перед посевом семена были обработаны протравителем Дивиденд Суприм («Сингента») в дозировке 2 л/т. Посев осуществлялся посевным агрегатом на базе трактора МТЗ-82,1 и селекционной сеялки СС-11 «Альфа», с междурядьем 15 см. Обработка посевов средствами защиты производства компании «Сингента» проводилась в фазы кушения: гербицид Камаро 0,5 л/га, инсектицид Каратэ Зеон 0,2 л/га, фун-

гицид Альто Турбо 0,5 л/га. Расход рабочего раствора – 200 л/га.

Ежегодно перед посевом на опытном поле определяли влажность почвы по слоям до 100 см (рис. 3). Замеры влажности почвы проводили при помощи стандартизованного влагомера НН-2 Delta-t Devices. Влажность почвы в поверхностном слое (0–10 см) в среднем составляла 22,3 %, что соответствует благоприятным условиям для прорастания семян.

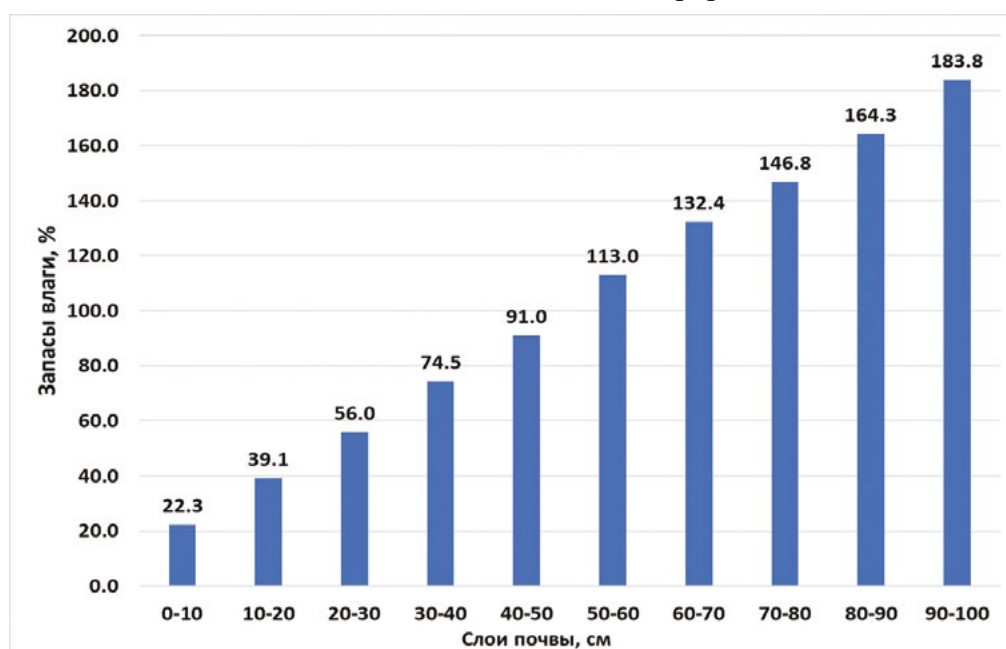


Рис. 3. Средние запасы влаги на опытном поле по слоям почвы
Average moisture reserves in the experimental field by soil layers

Средние запасы влаги в метровом слое составляли 183,8 мм, что соответствует очень низким значениям.

Контроль выпадения осадков и изменения суточных температур проводился с использованием данных агрометеостанции, расположенной

в АО «Пригородное» в 3 км от опытного поля. Распределение осадков было неравномерным. Основное их количество выпадало в июле–августе. Общая средняя сумма осадков составляла 267,4 мм. Самая высокая среднесуточная температура за период вегетации растений наблюда-

лась в начале июня и составляла 35 °С, самая низкая – 10 °С в начале мая.

Анализ почвы на содержание элементов питания на момент посева проводился в Центре агрохимической службы «Алтайский». Щелочногидролизуемый азот определяли по методу Корнфилда, фосфор и калий в подвижной форме – в соответствии с ГОСТ 26204–91. Среднее содержание элементов: легкогидролизуемого азота – 63 мг/кг, подвижного фосфора – 265 мг/кг, обменного калия – 129 мг/кг. Согласно классификации это соответствует среднему уровню обеспеченности почвы легкогидролизуемым азотом и высокому фосфором и калием.

Полевую всхожесть семян пшеницы рассчитывали отношением количества всходов к количеству фактически высеванных семян на 1 м² в процентах. В нашем случае при норме высева 4 млн шт./га количество высеванных семян составляло 400 шт./м². Высоту растений пшеницы определяли в соответствии с известными методиками полевого опыта, коэффициент кустистости – в соответствии с методикой полевого опыта Б.А. Доспехова путём учёта количества всходов, общего количества побегов и продуктивных побегов.

Биологическую урожайность пшеницы определяли на основе структуры урожая в соответствии с методикой полевого опыта Б.А. Доспехова.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показатели влажности почвы в метровом слое по фазам развития пшеницы приведены на рис. 4.

Исходя из средней динамики влажности почвы в ходе вегетации растений видим, что в фазу всходов наибольшие запасы влаги в метровом слое (159,8 мм) наблюдали в варианте, с семенами выделенными на скорости витания 11 м/с, наименьшие (145,4 мм) – в варианте, принятом за контроль. В фазу кущения наибольшими запасы влаги (147,5 мм) были в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 9 м/с, наименьшие (138,7 мм) – в контрольном варианте. В фазу выхода в трубку в почве отличались минимальные запасы за весь период вегетации, при этом наибольшие запасы (120,5 мм) наблюдали в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 10 м/с, наименьшие (99,1 мм) – 9 м/с. В фазу цветения наибольшие запасы влаги (210,3 мм) наблюдалась в контроле, а наименьшие (152,4 мм) – в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 9 м/с. В фазу колошения наибольшие запасы влаги (156,4 мм) зафиксированы в контроле, а наименьшие (135,2 мм) – в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 11 м/с. В фазу молочной спелости наибольшие запасы влаги (273,8 мм) определены в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 11 м/с, наименьшие (224,2 мм) – 10 м/с.

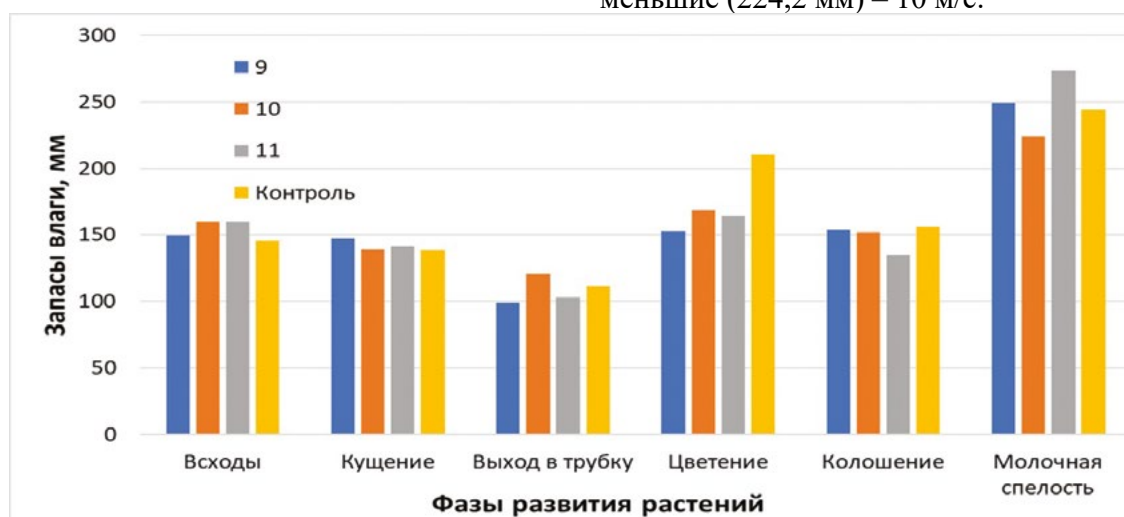


Рис. 4. Динамика средних запасов влаги в метровом слое по вариантам опыта
Dynamics of average moisture reserves in a meter layer according to experimental options

При 400 шт. высеванных на 1 м² семян, наибольшую полевую всхожесть семян (90,8 %) имел вариант с семенами, выделенными на скорости витания 10 м/с, наименьшую (83 %) –

имел вариант с семенами, выделенными на скорости витания 11 м/с, наименьшую (83 %) –

контроль, варианты с семенами, выделенными на скорости витания 9 и 11 м/с показали 85,9 и 83,4 % соответственно.

Динамика средней высоты растений за период вегетации представлена на рис. 5.

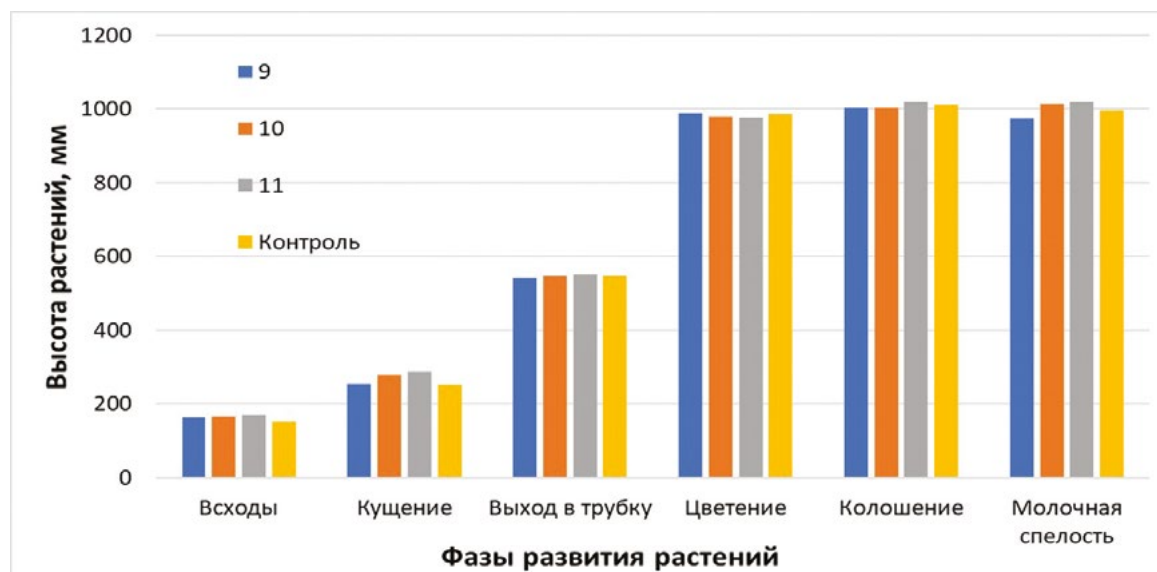


Рис. 5. Динамика средней высоты растений за период вегетации
Dynamics of average plant height during the growing season

В среднем по фазам вегетации растения во всех вариантах развивались равномерно, и изменения высот находятся в пределах ошибки опыта, но тем не менее необходимо отметить, что на стадии всходов наибольшей высотой (170,4 мм) обладали растения варианта с семенами, выделенными на скорости витания 11 м/с, наименьшей (152,8 мм) – растения контрольного варианта. На стадии кущения наибольшей высотой (287,6 мм) отличались растения варианта с семенами, выделенными на скорости витания 11 м/с, наименьшей (252,7 мм) – контрольного варианта. На стадии выхода в трубку наибольшая высота (551,8 мм) наблюдалась у растений варианта с семенами, выделенными на скоро-

сти витания 11 м/с, наименьшая (541,8 мм), – 9 м/с. На стадии цветения наибольшей высотой (989,1 мм) характеризовались растения в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 9 м/с, наименьшей (977,1 мм) – 11 м/с. На стадии колошения наибольшей высотой (1019,1 мм) обладали растения в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 11 м/с, наименьшей (1002,7 мм) – 9 м/с. На стадии молочной спелости наибольшей высотой (1020 мм) отличались растения в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 11 м/с, наименьшей (974 мм) – 9 м/с.

Результаты определения коэффициентов кустистости показаны в табл. 2.

Таблица 2

Средние коэффициенты кустистости растений пшеницы
Average tillering coefficients of wheat plants

Скорость витания, м/с	Коэффициент кустистости		Разница, %
	общей	продуктивной	
9	2,81	2,76	1,8
10	2,74	2,58	6,2
11	2,58	2,52	2,4
Контроль	2,73	2,38	14,7

Из таблицы видно, что наибольший средний коэффициент общей кустистости (2,81)

показал вариант с семенами, выделенными на скорости витания 9 м/с, наименьший (2,58)

– 11 м/с. Наибольший коэффициент продуктивной кустистости (2,76) показал вариант с семенами, выделенными на скорости витания 9 м/с, наименьший (2,38) контрольный вариант. Наименьшую разницу между коэффициентами (1,8 %) имел вариант с семенами, выделенными

ми на скорости витания 9 м/с, наибольшую (14,7 %) – контрольный вариант.

Для характеристики качественных показателей урожая было определено содержание фракций семян по вариантам опыта в 1 кг (табл. 2).

Таблица 3

Среднее содержание фракций в 1 кг полученного урожая
Average content of fractions per 1 kg of harvested crop

Скорость витания, м/с		Содержание фракции в 1 кг, %
исходных семян	полученного зерна	
Контроль	< 9	3,2
	9	83,1
	10	9,0
	11	2,1
	> 11	2,6
9	< 9	22,0
	9	3,2
	10	35,7
	11	38,4
	> 11	0,7
10	< 9	0,8
	9	5,4
	10	40,5
	11	50,0
	> 11	3,3
11	< 9	10,5
	9	59,5
	10	22,8
	11	5,8
	> 11	1,4

Как показывает анализ, в 1 кг урожая, полученного в контроле, наибольшее содержание (83,1 %) имела фракция, выделяемая на скорости витания 9 м/с. В варианте с семенами, выделенными на скорости витания 9 м/с, содержится больше всего (38,4 и 35,7 %) фракций, выделяемых на скорости витания 11 и 10 м/с соответственно. В варианте с семенами, выделенными на скорости витания 10 м/с, содержится больше всего (50,0 и 40,5 %) фракций, выделяемых на скорости витания 11 и 10 м/с соответственно. В варианте с семенами, выделенными на скорости витания 11 м/с, больше всего (59,5 %) фракции, выделяемой на скорости витания 9 м/с.

Для наглядного сравнения качественных показателей зерна полученного урожая, раз-

деленного на фракции по скорости витания между опытными вариантами, данные были сведены в табл. 4.

При средней влажности проб 12,6 %, массе проб 55 г и натуре 846 г/л самое высокое содержание белка (17,65 %) наблюдалось в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 10 м/с, самое низкое (17,14 %) – 9 м/с. Самое высокое содержание клейковины (34,89 %) отмечено в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 10 м/с, самое низкое (33,79 %) – 9 м/с. Наиболее высокий ИДК (82,14) наблюдался в контрольном варианте, самый низкий (75,69) – в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 10 м/с.

Качественные показатели полученного зерна
Quality indicators of the resulting grain

№	Скорость витания, м/с		Влаж-ность, %	Белок, %	Клейковина, %	ИДК	Натура, г/л
	Семян	Зерна					
1	Контроль		11,99	17,19	33,85	82,14	831,77
2	Контроль	9	12,93	18	33,53	81,30	841,97
3		10	13,05	17,55	35,74	78,35	862,80
4		11	12,71	17,39	34,66	78,75	853,12
5	9		12,40	17,14	33,79	79,29	848,40
6	9	9	12,59	17,05	32,96	79,81	841,45
7		10	12,61	17,21	34,83	79,59	856,58
8		11	12,41	17,96	32,47	79,94	833,53
9	10		11,99	17,65	34,89	75,69	843,25
10	10	9	13,06	16,57	30,81	82,49	807,23
11		10	12,34	17,51	36,64	74,71	861,35
12		11	12,37	17,52	38,01	74,95	855,69
13	11		12,00	17,33	34,16	80,06	836,42
14	11	9	13,41	17,50	33,64	79,30	865,50
15		10	11,58	17,14	34,64	76,74	844,09
16		11	13,66	17,36	34,44	83,82	857,35
Среднее			12,57	17,38	34,32	79,18	846,28

Для оценки потребления растениями элементов питания за период вегетации были проведены исследования почвенных образцов, взятых с экспериментального поля по вариантам опыта после уборки урожая пшеницы. Наибольший расход азота (31 мг/кг) наблюдался в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 9 м/с, наименьший (19,6 мг/кг) – в контроле. Наибольший расход фосфора (38 мг/кг) отмечен в варианте с семенами, выделенными на скорости витания 9 м/с, наименьший (32 мг/кг) – в контрольном. Содержание калия в почве изменялось в пределах 118–139 мг/кг.

Результаты определения урожайности приведены к влажности 12 %. В варианте с семенами, полученными при скорости витания 9 м/с биологическая урожайность составила 49,1 ц/га, 10 м/с – 52,3 ц/га, 11 м/с – 53,3 ц/га и в контроле – 56,4 ц/га.

Таким образом, наибольшую урожайность показал контрольный вариант, а наименьшую – вариант с семенами, выделенными на скорости витания 10 м/с. Стандартное отклонение составило 7,7, коэффициент вариации 14,7 %, что говорит о средней степени рассеивания

данных и свидетельствует об однородности совокупности.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее урожайным вариантом (56,4 ц/га) оказались семена, принятые за контроль. Семена, выделенные на скоростях витания 9, 10, 11 м/с обеспечили урожайность, возрастающую с ростом удельного веса семян – 49,1; 52,3; 53,3 ц/га соответственно, т.е. чем выше удельный вес семян, тем они урожайнее.

2. При анализе качества семена, выделенные на скорости витания 10 м/с, показали самое высокое содержание белка (17,65 %) и клейковины (34,89 %). Данные показатели являются ключевыми при определении классности зерна. Это говорит о том, что при пограничных значениях, урожай, полученный из семян, выделенных на скорости витания 10 м/с, будет предпочтительнее и, как следствие, дороже при реализации.

3. При разделении полученного урожая на фракции установлено, что в урожае, полученном после посева семенами, выделенными на скорости витания 10 м/с, наиболее крупные

зерна, имеющие наибольший удельный вес, составляют 90 % в 1 кг зерна и относятся к фракциям, выделяемым на скоростях витания 10 и 11 м/с. Следовательно, перед подготовкой семян необходимо определить, как будет использоваться полученный урожай. Если нужно получить более качественный семенной материал, следует высевать семена, выделяемые на скорости витания 10 м/с, а если требуется получить наибольший урожай товарного зерна, то необходимо сеять исходные семена.

4. Целесообразно проведение пневмокласификации семян по удельному весу на разных скоростях витания. При этом следует отметить, что в рамках настоящего исследования норма высева семян каждой фракции составляла 4 млн шт/га, а поскольку наиболее тяжелые семена являются и наиболее конкурентноспо-

собными в рамках данного опыта они конкурировали между собой за питание и условия произрастания и угнетали друг друга, не реализуя при этом полностью свой потенциал. В связи с этим необходимо дальнейшее проведение исследований по определению оптимальной нормы высева семян каждой из выделенных по скорости витания фракций. Рабочей гипотезой дальнейших исследований является то, что при дифференциации нормы высева в рамках каждой из выделенных фракций мы можем уменьшить норму высева определенной фракции и при этом получить урожай соответствующий или выше того, который показывают классические семена, а также снизить нормы высева и затраты на посев. Полученные выводы подтверждаются результатами других исследователей, работающих в этой области. [17].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Коньшев Н.Л.* Разработка и совершенствование технологических линий и технических средств послеуборочной обработки зерна и семян трав / под общ. ред. Н.Л. Коньшева. – Киров: ФГБНУ «ФАНЦ Северо-Востока», 2018. – 348 с.
2. *Экспресс-оценка* качества семян пшеницы после очистительной линии / Н. Н. Барышева, С.П. Пронин, В. И. Беляев, Д. Д. Барышев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 10 (180). – С. 128–134.
3. *Kumar A., Muir W.E.* Airflow resistance of wheat and barley affected by airflow direction, filling method and dockage // Transactions of the ASAE. – 1986. – Vol. 29, N 5. – P. 1423–1426.
4. *Brunet Y., Finnigan J.J., Raupach M.R.* A wind tunnel study of air flow in waving wheat: single-point velocity statistics // Boundary-Layer Meteorology. – 1994. – Vol. 70, N 1–2. – P. 95–132.
5. *Бурков А.И., Глушков А.Л., Лазыкин В.А.* Сравнительные исследования эффективности функционирования пневмосепарирующих каналов фракционного пневмосепаратора семян // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019 – № 3 (62). – С. 26–31.
6. *Correlation of microstructure, pore characteristics and hydration properties of wheat bran modified by air-flow impact mill* / Y. Li [et al.] // Innovative Food Science & Emerging Technologies. – 2022. – Vol. 77. – P. 102977.
7. *Пивень В.В., Уманская О.Л., Кривчун Н.А.* Моделирование диапазона скоростей витания и распределения примесей в камере при сепарировании зерна пшеницы // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 4. – С. 105–109.
8. *Поздняков В.М., Зеленко С.А.* Сортирование семян по биологической ценности // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – Т. 3. – С. 135–140.
9. *Подготовка* высококачественных семян с использованием пневмосепараторов / А.И. Бурков, Г.А. Баталова, А.Л. Глушков, В.А. Лазыкин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017 – № 2 (57). – С. 72–76.
10. *Барышев Д.Д., Беляев В.И.* Классификация семян пшеницы для оценки качества их фракционирования // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020 – № 9 (191). – С. 104–108.
11. *Экспериментальное* исследование электрофизических свойств семян пшеницы, разделенных на фракции по аэродинамическим свойствам / Д.Д. Барышев, Н.Н. Барышева, С.П. Пронин, В.И. Беляев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 179. – С. 136–140.

12. Сравнение биоэлектрических сигналов щуплых и выполненных семян пшеницы / Д.Д. Барышев, Н.Н. Барышева, С.П. Пронин, В.И. Беляев // Вестник аграрной науки Дона. – 2020. – № 3 (51). – С. 38–45.
13. Сравнение мембранного потенциала зерен пшеницы, разделенных на фракции по аэродинамическим свойствам, разных сортов с разной урожайностью / Н.Н. Барышев, Д.Д. Барышева, С.П. Пронин, Д.Д. Барышев, В.И. Беляев // Инженерные технологии и системы. – 2020. – № 30. – С. 550–575.
14. Мороз А.А., Хижников А.А. Влияние режимов пневмосепарирования семян на урожай яровой пшеницы // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. мат-ов 17-й Междунар. науч.-практ. конф. – Барнаул: Алтайский ГАУ, 2022. – № 2. – С. 60–62.
15. Оценка эффективности пневмосепарирования при подготовке семенного материала яровой пшеницы / Д.А. Яковлев, Р.Е. Прокопчук, В.Н. Кузнецов, А.А. Мороз, Д.П. Гребенюк // Новейшие направления развития аграрной науки в работах молодых ученых: материалы 9-й Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск–Краснообск: СФНЦА РАН, 2023. – С. 167–169.
16. Analysis of the physical properties of spindle seeds for seed sorting operations / Z. Kaliniewicz [et al.] // Scientific Reports. – 2021. – Vol. 11, N 1. – P. 13625.
17. Синягин И.И. Площади питания растений. – 3-е изд., доп. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 383 с.

REFERENCES

1. Konyshov N.L., *Razrabotka i sovershenstvovanie tehnologicheskikh linij i tehniceskikh sredstv posleu-borochnoj obrabotki zerna i semjan* (Development and improvement of technological lines and technical means for post-harvest processing of grain and grass seeds), Kirov: FGBNU «FANC Severo-Vostoka», 2018, 348 p. (In Russ.)
2. Barysheva N.N., Pronin S.P., Beljaev V.I., Baryshev D.D., *Vestnik altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, No. 10 (180), pp. 128–134. (In Russ.)
3. Kumar A., Muir W.E., Airflow resistance of wheat and barley affected by airflow direction, filling method and dockage, *Transactions of the ASAE*, 1986, Vol. 29, No. 5, pp. 1423–1426.
4. Brunet Y., Finnigan J.J., Raupach M.R., A wind tunnel study of air flow in waving wheat: single-point velocity statistics, *Boundary-Layer Meteorology*, 1994, Vol. 70, No. 1–2, pp. 95–132.
5. Burkov A.I., Glushkov A.L., Lazykin V.A., *Agrarnaja nauka evro-severo-vostoka*, 2019, No. 3 (62), pp. 26–31. (In Russ.)
6. Li Y. et al., Correlation of microstructure, pore characteristics and hydration properties of wheat bran modified by airflow impact mill, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2022, Vol. 77, pp. 102977.
7. Piven' V.V., Umanskaja O.L., Krivchun N.A., *Sovremennye naukoemkie tehnologii*, 2022, No. 4, pp. 105–109. (In Russ.)
8. Pozdnjakov V.M., Zelenko S.A., *Vestnik Nizhegorodskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii*, 2013, Vol. 3, pp. 135–140. (In Russ.)
9. Burkov A.I., Batalova G.A., Glushkov A.L., Lazykin V.A., *Agrarnaja nauka evro-severo-vostoka*, 2017, No. 2 (57), pp. 72–76. (In Russ.)
10. Baryshev D.D., Beljaev V.I., *Vestnik altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, No. 9 (191), pp. 104–108. (In Russ.)
11. Baryshev D.D., Barysheva N.N., Pronin S.P., Beljaev V.I., *Vestnik altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, No. 179, pp. 136–140. (In Russ.)
12. Baryshev D.D., Barysheva N.N., Pronin S.P., Beljaev V.I., *Vestnik agrarnoj nauki Dona*, 2020, No. 3 (51), pp. 38–45. (In Russ.)
13. Barysheva N.N., Barysheva D.D., Pronin S.P., Baryshev D.D., Beljaev V.I., *Inzhenernye tehnologii i sistemy*, 2020, No. 30, pp. 550–575. (In Russ.)
14. Moroz A.A., Hizhnikov A.A., *Agrarnaja nauka – sel'skomu hozjajstvu* (Agricultural Science for Agriculture), Proceedings of the 17th International scientific and practical conference, Barnaul: Altajskij GAU, 2022, No. 2, pp. 60–62.
15. Jakovlev D.A., Prokopchuk R.Ye., Kuznecov V.N., Moroz A.A., Grebenjuk D.P., *Novejshie napravlenija razvitija agrarnoj nauki v rabotah molodyh uchenykh* (The latest directions in the development of agricul-

- tural science in the works of young scientists), Proceedings of the 9th International scientific and practical conference, Krasnoobsk: SFNCA RAN, 2023, pp. 167–169. (In Russ.)
16. Kaliniewicz Z. et al., Analysis of the physical properties of spindle seeds for seed sorting operations, *Scientific Reports*, 2021, Vol. 11, No. 1, pp. 13625.
17. Sinyagin I.I., *Ploshhadi pitaniya rastenij* (Plant nutrition areas), Moscow: Rossel'hozizdat, 1975, 383 p. (In Russ.)