

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-642452>

Оригинальное исследование



Предпосевная обработка семян зерновых культур низкочастотным электромагнитным полем

А.Г. Аксенов¹, М.Е. Чаплыгин¹, Л.С. Шибряева^{1, 2, 3}, М.Е. Бельштина¹, М.О. Кульпина¹,
А.С. Чулков¹, К.А. Степанов¹

¹ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия;

² Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля, Москва, Россия;

³ МИРЭА — Российский технологический университет, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Проведённые лабораторные исследования влияния низкочастотного магнитного поля на показатели продуктивности семян зерновых культур выявили стимулирование биофизических и биохимических свойств семян, увеличение их всхожести, энергии прорастания и рост растений, что соответствует плану научных исследований Федеральной научно-технической программы развития селекции и семеноводства зерновых культур до 2030 года.

Цель работы — изучить влияние низкочастотного электромагнитного поля на показатели продуктивности промышленной партии семян зерновых культур.

Материалы и методы. Исследования проводились в соответствии с ГОСТ на опытном образце оборудования для электромагнитного воздействия на 11 сортах зерновых культур по 5 показателям продуктивности: лабораторной всхожести, полевой всхожести, густоте всходов, густоте растений перед уборкой, урожайностью. Варьируемыми параметрами являлись режимы облучения: частота (Гц), магнитная индукция (мТл), время воздействия (мин).

Результаты. Установлено повышение урожайности облучённых промышленных партий семян зерновых культур по сравнению с необлучёнными до 22%, при этом установлено повышение лабораторной всхожести до 17%, полевой всхожести до 10%, густоты всходов до 10%, густоты растений перед уборкой до 11%.

Заключение. Эффективность режимов облучения промышленных масс семян доказана приростом урожайности для следующих сортов: 16 Гц, 25 мТл, 25 мин — для сортов яровой пшеницы Эстер (прирост 13%); 50 Гц, 25 мТл, 25 мин — для ярового ячменя Знатный (прирост 5%); 75 Гц, 25 мТл, 5 мин — для сортов озимой пшеницы Поволжская 21 (прирост 22%); 16 Гц, 10 мТл, 25 мин — для озимой пшеницы Поволжская Нива (прирост 19%), Московская 39 (прирост 13%).

Ключевые слова: низкочастотное электромагнитное поле; промышленная партия семян; обработка семян; урожайность; всхожесть; густота растений.

Как цитировать:

Аксенов А.Г., Чаплыгин М.Е., Шибряева Л.С., Бельштина М.Е., Кульпина М.О., Чулков А.С., Степанов К.А. Предпосевная обработка семян зерновых культур низкочастотным электромагнитным полем // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 6. С. 843–852. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-642452>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-642452>

Original Study Article

Pre-sowing treatment of grain seeds with a low-frequency electromagnetic field

Alexander G. Aksenov¹, Mikhail E. Chaplygin¹, Lyudmila S. Shibryaeva^{1, 2, 3}, Marina E. Belyshkina¹, Maria O. Kulpina¹, Andrey S. Chulkov¹, Kirill A. Stepanov¹

¹ Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia;

² N.M. Emanuel Institute of Biochemical Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

³ MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The conducted laboratory studies of the effect of a low-frequency magnetic field on the productivity of grain seeds revealed stimulation of the biophysical and bio-chemical properties of the seeds, an increase in their germination, germination energy and plant growth, which corresponds to the research plan of the Federal Scientific and Technical Program for the Development of breeding and seed production of cereals until 2030.

OBJECTIVE: To study the effect of a low-frequency electromagnetic field on the productivity indicators of an industrial batch of grain seeds.

METHODS: The research was carried out in accordance with the GOST on a prototype of the equipment for electromagnetic exposure on 11 varieties of grain seeds according to 5 indicators of productivity: laboratory germination, field germination, germination density, plant density before harvesting, yield rate. The varied parameters were the irradiation modes: frequency (Hz), magnetic induction (mT), exposure time (min).

RESULTS: An increase in the yield rate of the irradiated industrial batches of grain seeds compared with the non-irradiated ones up to 22% was found, while an increase in laboratory germination up to 17%, field germination up to 10%, germination density up to 10%, plant density before harvesting up to 11% were found.

CONCLUSIONS: The effectiveness of the irradiation modes of industrial seed masses has been proven by an increase in yield rate for the following varieties: 16 Hz, 25 mT, 25 min — for the Ester spring wheat varieties (an increase of 13%); 50 Hz, 25 mT, 25 min — for the Znatny spring barley (an increase of 5%); 75 Hz, 25 mT, 5 min — for the Povolzhskaya 21 winter wheat varieties (increase of 22%); 16 Hz, 10 mT, 25 min — for the Povolzhskaya Niva winter wheat (increase of 19%), Moskovskaya 39 (increase of 13%).

Keywords: low-frequency electromagnetic field; industrial batch of seeds; seed treatment; yield; germination; plant density.

To cite this article:

Aksenov AG, Chaplygin ME, Shibryaeva LS, Belyshkina ME, Kulpina MO, Chulkov AS, Stepanov KA. Pre-sowing treatment of grain seeds with a low-frequency electromagnetic field. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(6):843–852. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-642452>

Received: 12.12.2024

Accepted: 20.12.2024

Published online: 20.12.2024

ВВЕДЕНИЕ

Исследование облучения семян зерновых культур низкочастотным электромагнитным полем является актуальным для комплексного плана научных исследований Федеральной научно-технической программы развития селекции и семеноводства зерновых культур до 2030 года, поскольку проведённые в лабораторных условиях исследования влияния низкочастотного магнитного поля на показатели продуктивности семян зерновых культур показали, что воздействие на семена приводит к стимулированию их биофизических и биохимических свойств, увеличению их всхожести, энергии прорастания, росту биомассы растений от 15% до 20% по сравнению с контролем и повышению потребительских качеств зерна, увеличению стойкости при хранении и снижению потерь зерна от заражения микроорганизмами [1-6]. Также установлен технологический показатель оптимального расстояния облучаемых семян от излучателей низкочастотного магнитного поля — до 15 см [4], при котором достигается максимальное содержание гликозидных связей в аминокислотах и других веществ, необходимых для развития корневого зародыша и стебелька. Полученные данные позволяют провести исследования облучения низкочастотным магнитным полем промышленной партии семян зерновых культур.

Цель исследования — изучить влияние низкочастотного электромагнитного поля на состав и свойства промышленной партии семян зерновых культур.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Конструкторская документация на опытный образец оборудования для электромагнитного воздействия (ОЗВ) разработана по ГОСТ 2.109-73 «Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам». В соответствии с техническим заданием и конструкторской документацией была разработана промышленная установка для обработки семян зерновых культур в низкочастотном электромагнитном поле в производственных условиях (рис. 1).

Оборудование для электромагнитного воздействия состоит из бункера 1, расположенного на раме 2, блока управления 3 с панелями излучателей 4 и датчиков влажности 5.

Бункер 1 опытного образца оборудования для электромагнитного воздействия выполнен из полипропилена и не препятствует электромагнитному воздействию на семена, с возможностью бокового изъятия панелей-излучателей 4. Рабочие зоны облучения соответствуют геометрическим размерам панели излучателей 4.

В соответствии с выявленной при лабораторных исследованиях оптимальной толщине облучаемого слоя бункер разделён перегородками 6 на пять отсеков — три средних отсека шириной 150 мм и два боковых отсека

шириной 70 мм [4]. Перегородки 6 содержат боковые стенки, соединённые горизонтальными полками, на которых располагают линейки панели излучателей 4. В соответствии с лабораторными исследованиями толщина материала, используемого для перегородок 6, не должна превышать 3 мм.

Панели излучателей 4 устанавливаются в бункер 1 рабочей зоной, предназначенной для облучения. Нерабочая зона панелей облучателя располагается на полке 7 с держателями панелей. Панели излучателей 4 состоят из 24 излучателей.

Для обеспечения выгрузки облучённого материала из отсеков в контейнеры 8 и 9, нижней части бункера 1 в пазах соединительного бруса размещаются заслонки 10 и 11, скользящие по пазам.

Под бункером располагаются контейнеры 8 и 9, соответствующие объёму отсеков, в которые выгружаются облучённые семена. В большой контейнер 8 выгружаются облучённые семена из 2-х крайних отсеков, в малый контейнер 9 — из центрального отсека.

Для измерения влажности семенного материала в отсеках корпуса установлены микроволновые датчики 5 типа HYDROCOM 2.

Производительность опытного образца оборудования для электромагнитного воздействия с одним бункером до 100 кг в час. При увеличении количества бункеров ОЗВ до четырёх, производительность опытного образца соответственно увеличивается до 500 кг в час.

При сборке установки, согласно рис. 1 в пазы боковых стенок бункера 1 устанавливаются перегородки 6, разделяющие рабочие зоны между собой на отсеки. Оператор

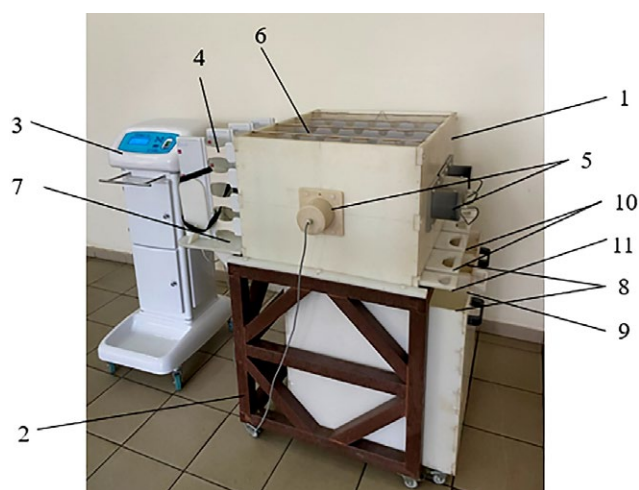


Рис. 1. Промышленная установка для электромагнитного воздействия на семена зерновых культур: 1 — бункер; 2 — рама; 3 — блок управления; 4 — панели-излучатели; 5 — датчики влажности; 6 — перегородки; 7 — полка; 8, 9 — контейнеры; 10, 11 — выгрузные заслонки.

Fig. 1. An industrial facility for electromagnetic exposure on grain seeds: 1 — a box; 2 — a frame; 3 — a control unit; 4 — panels-irradiators; 5 — moisture gauges; 6 — walls; 7 — a shelf; 8, 9 — containers; 10, 11 — discharging covers.

устанавливает через прорези в бункере 1 с боковой стороны панели излучателей 4 и подключает их к блоку управления 3 при помощи электрических кабелей. В нишу под бункером 1 вплотную к раме устанавливаются два крайних больших контейнера 8 и один малый контейнер 9 в центре.

Оператор заполняет семенами отсеки бункера 1 в соответствии с утверждённой программой и методикой испытаний.

Оператор подключает блок питания устройства к сети 220 В и включает устройство тумблером «сеть», далее в меню активирует необходимое количество бункеров 1 и панелей-излучателей 4, устанавливает режим облучения.

После облучения оператор открывает заслонки 10 и 11, и облучённые семена под силой тяжести выгружаются в контейнеры 8 и 9.

Основные технические характеристики установки представлены в табл. 1.

Электромагнитное оборудование состоит из основного блока управления и 4х наборов электромагнитных излучателей (ЗИ). В состав одного набора электромагнитных излучателей входят 24 штуки излучателей, распределённых по сетке 6х4. Общий вид набора излучателей представлен на рис. 2.

ЗИ имеют с одной стороны излучение направление магнитного поля S, с другой N. Соответственно при облучении требуемых биологических масс учитывается направление магнитного поля.

Для облучения отобраны семена одиннадцати сортов зерновых культур: рожь Московская 12, Московская 18; пшеница Поволжская Нива, Поволжская 21, Московская 39, Немчиновская 85, Рима, Радмира, Эстер; ячмень: Знатный, Надёжный, в соответствии с ГОСТ 12036-85 «Семена



Рис. 2. Общий вид набора электромагнитных излучателей: 1 — блок управления; 2 — лента облучателей.

Fig. 2. General view of bunch of the electromagnetic irradiators: 1 — a control unit, 2 — a band of irradiators.

Таблица 1. Технические характеристики промышленной установки для электромагнитного воздействия на семена зерновых культур

Table 1. Technical specification of the industrial facility for electromagnetic exposure on grain seeds

Показатель	Характеристики
Название	ОЗВ
Материалы деталей корпуса	ПНД, поликарбонат, полипропилен, полиамид, PetG пластик, цианоакрилатный клей
Количество отсеков	5
Объём отсеков, м³	2х0,016+3х0,0336
Характеристики электромагнитных импульсов:	
частота, Гц	1...100
магнитная индукция, мТл	2...45
Потребляемая мощность, Вт	4х70
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	1030х890х1200
Производительность, т/ч	0,1
Дополнительное оборудование	Датчики влажности
Масса, кг	128

сельскохозяйственных культур. Правила приёмки и методы отбора проб». При проведении испытаний опытного образца оборудования для электромагнитного воздействия устанавливаются следующие диапазоны режимов воздействия низкочастотного электромагнитного излучения:

- частота: от 1 до 100 Гц;
- магнитная индукция: от 2 до 45 мТл;
- время воздействия на материал: от 5 до 60 мин.

Для испытываемых сортов, с учетом проведенных лабораторно-полевых исследований, были определены следующие режимы излучения:

Яровые зерновые:

- 16 Гц, 25 мТл, 25 мин — для сортов пшеницы Эстер, Рима.
- 50 Гц, 25 мТл, 25 мин — для сортов ячменя Надежный, Знатный.

Озимые зерновые:

- 16 Гц, 10 мТл, 25 мин — для сортов ржи: Московская 18; пшеницы: Поволжская Нива, Поволжская 21, Московская 39, Немчиновская 85.
- 75 Гц, 25 мТл, 5 мин — для сорта ржи: Поволжская 21
- 75 Гц, 25 мТл, 10 мин — для сорта ржи: Московская 12.

Указанные режимы выбраны на основе поисковых экспериментов в лабораторных условиях и показавшие наибольшую лабораторную всхожесть.

Программой испытаний предусмотрено определение лабораторной всхожести указанных сортов, определение полевой всхожести, густоты всходов, густоты растений перед уборкой, определение урожайности.

От отобранных зерновок основной культуры отсчитывались четыре навески по 100 семян каждая (рис. 3) и в соответствии с методикой ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести» определялась её всхожесть. Осуществление данных процессов происходило в термостате LP-113 («Labor Muszeripari Muek Esztergom», Венгрия) (рис. 4). На третий день осуществляли учёт энергии прорастания

по дружности всходов семян (рис. 5), на 7-й день определили лабораторную всхожесть (рис. 6). Облучение семян проводили за 2 недели до посева (рис. 7). Посев проводили в с. Подвьязь Рязанской Области сеялкой КС-6-10 (рис. 8). Густоту растений определяли дважды на первом и дважды третьем повторении, со второго, третьего и четвертого рядка на расстоянии три метра от края делянки 3 метра на площади 0,25 м² (0,56х0,44 м) (рис. 9). Урожайность определяли биометрическим анализом испытываемых сортов (рис. 10).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.

Результаты лабораторно-полевых испытаний определения показателей продуктивности облучённых и контрольных семян без облучения показаны в табл. 2, 3.

На основании данных табл. 2 установлено повышение урожайности облучённых промышленных партий семян яровых культур по сравнению с необлучёнными до 13%, при этом установлено повышение лабораторной всхожести до 17%, полевой всхожести до 10%, густоты всходов до 10 %, густоты растений перед уборкой — до 11%.

Наибольший положительный эффект облучения установлен на промышленной партии семян пшеницы Эстер: установлен прирост урожайности по сравнению с необлучёнными семенами — на 13%, при этом установлено снижение лабораторной всхожести на 1%, повышение полевой всхожести на 4%, повышение густоты всходов на 3% и повышение густоты растений перед уборкой повысилась на 2%.

Положительный эффект от облучения также установлен на промышленной партии семян ячменя Знатный (установлен прирост урожайности на 5% при повышении лабораторной всхожести на 16%, полевой всхожести на 10%, густоты всходов на 10% и густоты растений перед уборкой на 11%).

Отрицательный эффект от облучения установлен на промышленной партии семян ячменя Надёжный (установлено



Рис. 3. Отбор навесок по 100 семян для исследования.
Fig. 3. Selection of packs with 100 seeds for the study.



Рис. 4. Определение энергии прорастания и всхожести семян, обработанных низкочастотным электромагнитным воздействием.
Fig. 4. Defining the germination energy of the seeds treated by low-frequency electromagnetic exposure.

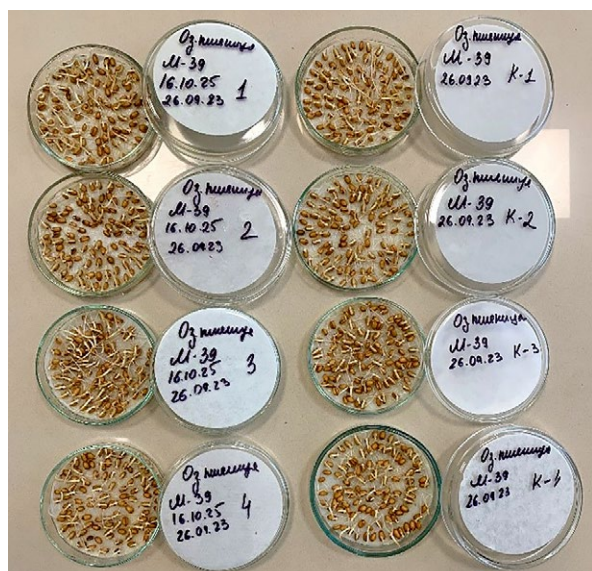


Рис. 5. Определение всхожести семян, обработанных низкочастотным электромагнитным воздействием на 3-й день.

Fig. 5. Defining the germination of the seeds treated by low-frequency electromagnetic exposure on the third day.

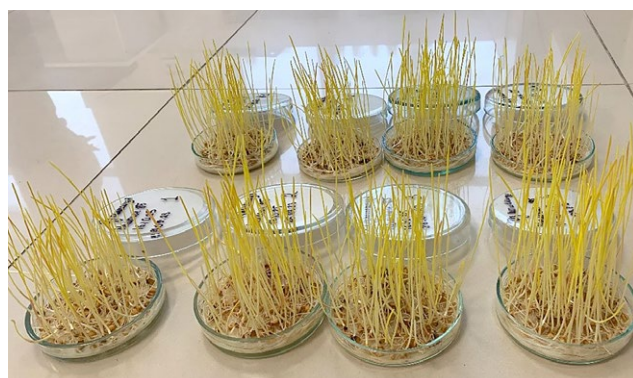


Рис. 6. Определение всхожести семян, обработанных низкочастотным электромагнитным воздействием на 7-й день.

Fig. 6. Defining the germination of the seeds treated by low-frequency electromagnetic exposure on the seventh day.



Рис. 8. Посев яровых зерновых культур.

Fig. 8. Sowing the spring grain crops.



Рис. 7. Облучение промышленной партии семян.

Fig. 7. Irradiation of the industrial batch of the seeds.



Рис. 9. Определение густоты растений.

Fig. 9. Defining the plant density.

Таблица 2. Яровые зерновые: полевая всхожесть и урожайность (2024 г.)

Table 2. The spring grain crops: field germination and yield rate (2024)

Культура	Сорт	Лабораторная всхожесть, %	Полевая всхожесть, %	Густота всходов, шт./м ²	Густота перед уборкой, шт./м ²	Биологическая урожайность, т/га
Яровая пшеница	Эстер (к)	94	75	450	408	1,83
	Эстер (о)	93	78	463	418	2,07
	Радмира (к)	80	68	390	362	2,95
	Радмира (о)	79	67	398	364	2,59
	Рима (к)	97	78	452	412	3,38
	Рима (о)	94	75	432	396	2,54
Ячмень яровой	Надёжный (к)	98	76	394	362	2,37
	Надёжный (о)	82	72	358	328	1,77
	Знатный (к)	84	68	335	305	2,66
	Знатный (о)	98	75	368	338	2,80

снижение урожайности на 25%, при этом установлено снижение лабораторной всхожести на 16%, полевая всхожести на 5%, густоты всходов на 9% и густоты растений перед уборкой на 9%), пшенице Рима (установлено снижение урожайности на 13%, при этом лабораторная всхожесть снизилась на 16%, полевая всхожесть повысилась на 4%, густота всходов на 4%, густота растений перед уборкой на 4%), пшенице Радмира (установлено снижение урожайности на 12%, лабораторной всхожести на 1%, полевой всхожести на 1%, повышение густоты всходов на 2%, густоты растений перед уборкой без изменений).

На основании данных табл. 3 установлено повышение урожайности облучённых промышленных партий семян озимых культур по сравнению с необлучёнными до 22%, при этом установлено повышение лабораторной всхожести до 8%, полевой всхожести до 10%, густоты всходов до 9%, густоты растений перед уборкой до 10%.

Наибольший положительный эффект облучения установлен на промышленной партии семян пшеницы Поволжская 21: при режиме облучения 75 Гц, 25 мТл, 5 мин установлен прирост урожайности по сравнению с необлучёнными семенами на 22%, при этом установлено повышение лабораторной всхожести на 3%, повышение полевой всхожести на 4%, повышение густоты всходов на 3% и густоты растений перед уборкой на 2%.

Положительный эффект от облучения также установлен на промышленной партии семян пшеницы Поволжская Нива (при режиме облучения 16 Гц, 10 мТл, 25 мин установлен прирост урожайности на 19% при повышении лабораторной всхожести на 1%, полевой всхожести на 1%, сохранении густоты всходов и густоты растений перед уборкой).

Положительный эффект от облучения также установлен на промышленной партии семян пшеницы Московская 39



Рис. 10. Биометрический анализ испытываемых сортов.

Fig. 10. Biometrical analysis of the studied varieties.

(при режиме облучения 16 Гц, 10 мТл, 25 мин установлено прирост урожайности на 13%, при повышении лабораторной всхожести на 8%, снижение полевой всхожести на 1%, повышение густоты всходов на 3%, густоты растений перед уборкой на 4%).

Отрицательный эффект от облучения установлен на промышленной партии семян пшеницы Московская 18 (при режиме 16 Гц, 10 мТл, 25 мин установлено снижение урожайности на 25%, при этом установлено повышение лабораторной всхожести на 7%, полевой всхожести на 10%, густоты всходов на 9% и густоты растений перед уборкой на 9%), ржи Московская 12 (при режиме облучения 75 Гц, 25 мТл, 10 мин установлено снижение урожайности на 12% при повышении лабораторной

Таблица 3. Озимые зерновые: полевая всхожесть и урожайность (2023–2024 гг.)
Table 3. The winter grain crops: field germination and yield rate (2023–2024)

Культура	Вариант	Лабораторная всхожесть, %	Полевая всхожесть, %	Густота всходов, шт./ м ²	Густота перед уборкой, шт./м ²	Биологическая урожайность, т/га
Озимая рожь	Московская 18 (контроль)	89	78	390	329	4,34
	Московская 18 (25 минут)	92	82	418	362	3,24
	Московская 12 (контроль)	88	77	396	332	4,55
	Московская 12 (10 минут)	94	85	432	363	4,00
Озимая пшеница	Немчиновская 85 (контроль)	93	85	432	365	3,81
	Немчиновская 85 (25 минут)	80	72	376	315	3,54
	Поволжская 21 (контроль)	95	82	412	348	3,19
	Поволжская 21 (5 минут)	98	86	428	358	3,92
	Поволжская 21 (25 минут)	93	82	398	332	3,51
	Поволжская Нива (контроль)	98	86	432	362	3,83
	Поволжская Нива (25 минут)	99	87	429	362	4,58
	Московская 39 (контроль)	78	75	375	320	3,22
	Московская 39 (25 минут)	84	74	386	334	3,63

всхожести на 3%, полевой всхожести на 8%, густоты всходов на 8% и густоты растений перед уборкой на 8%), пшеницы Немчиновская 85 (при режиме облучения 16 Гц, 10 мТл, 25 мин установлено снижение урожайности на 7% при снижении лабораторной всхожести на 14%, полевой всхожести на 15%, густоты всходов на 13% и густоты растений перед уборкой на 14%).

ВЫВОДЫ

- Доказана эффективность режимов облучения промышленных масс семян приростом урожайности для следующих сортов:
 - 16 Гц, 25 мТл, 25 мин – для сортов яровой пшеницы Эстер (прирост 13%).
 - 50 Гц, 25 мТл, 25 мин – для ярового ячменя Знатный (прирост 5%).
 - 75 Гц, 25 мТл, 5 мин – для сортов озимой пшеницы Поволжская 21 (прирост 22%).
 - 16 Гц, 10 мТл, 25 мин – для сортов озимой пшеницы Поволжская Нива (прирост 19%), Московская 39 (прирост 13%).
- На основе лабораторно-полевых испытаний установлено повышение лабораторной всхожести облучённых промышленных партий семян яровых культур по сравнению с необлучёнными до 17%, полевой всхожести до 10%, густоты всходов до 10 %, густоты растений перед уборкой до 11%.
- На основе лабораторно-полевых испытаний установлено повышение лабораторной всхожести облучённых промышленных партий семян озимых культур

по сравнению с необлучёнными до 8%, полевой всхожести до 10%, густоты всходов до 9%, густоты растений перед уборкой до 10%.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. А.Г. Аксенов — научное руководство, постановка проблемы, разработка теоретических предпосылок, формулирование основной концепции, целей и задач исследования, доработка текста, формирование общих выводов, утверждение финальной версии; М.Е. Чаплыгин — формулирование основных целей и задач исследования, доработка текста и оформление материалов, анализ литературных источников, формирование общих выводов, итоговая переработка статьи; Л.С. Шибряева — разработка теоретических предпосылок, формулирование основных целей и задач исследования, доработка текста и оформление материалов, анализ литературных источников, выбор и обоснование режимов облучения, формирование выводов по результатам исследований и общих выводов; М.Е. Белышкина — разработка программы и методики лабораторных и полевых исследований, проведение лабораторных и полевых исследований, проведение расчетов, формирование выводов по результатам исследований и общих выводов; М.О. Кульпина — апробация разрабатываемых режимов облучения семян, проведение лабораторных и полевых исследований, формирование общих выводов; А.С. Чулков — доработка текста и оформление материалов, разработка и обоснование конструкции установки; К.А. Степанов — проведение лабораторных

и полевых исследований, проведение расчетов, составление первоначального варианта статьи, доработка текста. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Исследования проведены на средства гранта по соглашению № 075-15-2022-1210 от 07.10.2022 г. с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. A.G. Aksenov — scientific guidance, problem statement, development of theoretical prerequisites, formulation of the basic concept, goals and objectives of the study, revision of the text, formation of general conclusions, approval of the final version; M.E. Chaplygin — formulation of the main goals and objectives of the study, revision of the text and processing of the materials, analysis of literary sources, formation of general conclusions, final reworking of the paper; L.S. Shibryaeva — development

of theoretical prerequisites, formulation of the main goals and tasks of the study, revision of the text and processing of the materials, analysis of literary sources, selection and justification of the irradiation modes, formation of conclusions based on the research results and general conclusions; M.E. Belyshkina — development of a program and method for laboratory and field research, conducting the laboratory and field research, calculations, drawing conclusions based on the research results and general conclusions; M.O. Kulpina — approval of the developed modes of seed irradiation, conducting the laboratory and field research, formation of general conclusions; A.S. Chulkov — revision of the text and processing of the materials, development and justification of the facility design; K.A. Stepanov — conducting the laboratory and field research, calculations, preparation of the initial version of the paper, revision of the text. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. The research was carried out with the grant funds under Agreement No. 075-15-2022-1210 dated 07.10.2022 with the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Levina NS, Tertyshnaya YuV, Bidey IA, et al. Sowing qualities of seeds of soft spring wheat (*Triticum aestivum* L.) under different modes of exposure to a low-frequency electromagnetic field. *Agricultural biology*. 2017;52(3):580–587. (In Russ.) doi: 10.15389/agrobiology.2017.3.580rus
2. Shashkov DN, Alla H, Zhirgulevich DK, Ilchenko GP. Studying the influence of a low-frequency electromagnetic field on living systems. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2016;3–2:237–240. (In Russ.) EDN: VOWUWF
3. Shibryaeva LS, Chaplygin ME, Aksenov AG, et al. Effect of low-frequency electromagnetic field on the properties of wheat and barley seeds. *International Research Journal*. 2024;1(139):1–15. doi: 10.23670/IRJ.2024.139.16
4. Dorokhov AS, Chaplygin ME, Aksenov AG, et al. *Processing of grain seeds in a low-frequency electromagnetic field*. Moscow: Agricultural machines and technologies. 2023;17(4):4–11. (In Russ.) doi: 10.22314/2073-7599-202317-4-4-11
5. Alchimbayeva S, Zhalnin EV, Sadykov ZS, et al. The processing of seeds of spring wheat by low frequency electromagnetic field in an industrial environment. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019;7(6):1057–1061. EDN: VQZECG
6. Shibryaeva LS, Chaplygin ME, Aksenov AG, et al. The influence of the electromagnetic field of low-frequency radiation on the physico-chemical properties of wheat seeds. *Eurasian Union of Scientists. Series: medical, biological and chemical sciences*. 2023;11(112):7–22. (In Russ.) doi: 10.31618/ESU.2413-9335.2023.4.112.1924

ОБ АВТОРАХ

* **Степанов Кирилл Александрович**,
младший научный сотрудник отдела «Технологии и оборудование для зерновых, зернобобовых и масличных культур»;
адрес: Россия, 109428, Москва, 1-й Институтский пр-д, д. 5;
ORCID: 0009-0004-1511-4307;
eLibrary SPIN: 6831-0519;
e-mail: 89999878895@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Kirill A. Stepanov**,
Junior Researcher of the Technologies and Equipment for Cereals, Legumes and Oilseeds Department;
address: 5 1st Institutsky dr, Moscow, Russia, 109428;
ORCID: 0009-0004-1511-4307;
eLibrary SPIN: 6831-0519;
e-mail: 89999878895@mail.ru

Аксенов Александр Геннадьевич,

д-р техн. наук,
главный научный сотрудник отдела «Технологии и машины
для овощеводства»;
ORCID: 0000-0001-7675-0500;
eLibrary SPIN: 7828-6438;
e-mail: 1053vim@mail.ru

Чаплыгин Михаил Евгеньевич,

канд. техн. наук,
ведущий научный сотрудник отдела «Технологии и оборудование
для зерновых, зернобобовых и масличных культур»;
ORCID: 0000-0003-0031-6868;
eLibrary SPIN: 2268-6927;
e-mail: misha2728@yandex.ru

Шибряева Людмила Сергеевна,

д-р хим. наук, профессор,
ведущий научный сотрудник отдела «Технологии и оборудова-
ние для зерновых, зернобобовых и масличных культур»; ведущий
научный сотрудник лаборатории «Физико-химия композиций
синтетических и природных полимеров»; профессор кафедры
«Химия и технология переработки эластомеров»;
ORCID: 0000-0001-6805-4492;
eLibrary SPIN: 3664-7997;
e-mail: lyudmila.shibryaeva@yandex.ru

Белышкина Марина Евгеньевна,

д-р с.-х. наук,
главный научный сотрудник отдела «Формирование
технологической политики и аналитического
прогнозирования развития АПК»;
ORCID: 0000-0003-2876-1031;
eLibrary SPIN: 3036-6544;
e-mail: bely-mari@yandex.ru

Кульпина Мария Олеговна,

инженер отдела «Технологии и оборудование для зерновых,
зернобобовых и масличных культур»;
ORCID: 0009-0007-6855-819X;
eLibrary SPIN: 9792-0329;
e-mail: markulpina@yandex.ru

Чулков Андрей Сергеевич,

канд. техн. наук,
ведущий научный сотрудник отдела «Технологии и оборудование
для зерновых, зернобобовых и масличных культур»;
ORCID: 0009-0002-1178-451X;
eLibrary SPIN: 1726-9749;
e-mail: andrei.chulkov@mail.ru

Alexander G. Aksenov,

Dr. Sci. (Engineering),
Chief Researcher of the Technologies and Machines for Vegetable
Growing Department;
ORCID: 0000-0001-7675-0500;
eLibrary SPIN: 7828-6438;
e-mail: 1053vim@mail.ru

Mikhail E. Chaplygin,

Cand. Sci. (Engineering),
Leading Researcher of the Technologies and Equipment
for Cereals, Legumes and Oilseeds Department;
ORCID: 0000-0003-0031-6868;
eLibrary SPIN: 2268-6927;
e-mail: misha2728@yandex.ru

Lyudmila S. Shibryaeva,

Dr. Sci. (Chemistry), Professor,
Leading Researcher of the Technologies and Equipment for Cereals,
Legumes and Oilseeds Department; Leading Researcher
at the Laboratory of Physico-Chemistry of Synthetic and Natural
Polymer Compositions; Professor of the Chemistry and Technology
of Elastomer Processing Department;
ORCID: 0000-0001-6805-4492;
eLibrary SPIN: 3664-7997;
e-mail: lyudmila.shibryaeva@yandex.ru

Marina E. Belyshkina,

Dr. Sci. (Agriculture),
Chief Researcher of the Formation of Technological Policy
and Analytical Forecasting of Agricultural Industry
Department;
ORCID: 0000-0003-2876-1031;
eLibrary SPIN: 3036-6544;
e-mail: bely-mari@yandex.ru

Maria O. Kulpina,

Engineer of the Technologies and Equipment for Cereals,
Legumes and Oilseeds Department;
ORCID: 0009-0007-6855-819X;
eLibrary SPIN: 9792-0329;
e-mail: markulpina@yandex.ru

Andrey S. Chulkov,

Cand. Sci. (Engineering),
Leading Researcher of the Technologies and Equipment
for Cereals, Legumes and Oilseeds Department;
ORCID: 0009-0002-1178-451X;
eLibrary SPIN: 1726-9749;
e-mail: andrei.chulkov@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author