

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СЕМЯН НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМОЙ, АПРОБАЦИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

М. М. Нафиков, Р. Р. Хузина, М. М. Хисматуллин

Реферат. Целью исследования является разработка источника низкотемпературной плазмы коронного разряда и установить влияние плазмы на ростовые процессы в семенах яровой пшеницы сорта Архат. Исследования проводили в Институте искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии "Казанский (Приволжский) федеральный университет" (КФУ) в 2022–2024 годах в лаборатории кафедры биомедицинской инженерии и искусственного интеллекта в биотехнических системах. Обработку семян коронным разрядом проводили при следующих параметрах: напряжение 4 и 8 кВ; частота 0,2 кГц; 0,3 кГц; 0,5 кГц; расстояние семян от плазмотрона 3 см; время обработки семян 20, 25, 30, 35 секунд. Семена контрольного варианта без обработки плазмой и варианты с обработкой коронной атмосферной плазмой проращивали рулонным методом в ламинарном шкафу Lamsystem. При напряжении 4 кВ, наибольший прирост длины проростков по отношению к контролю наблюдали при частоте 0,5 кГц и времени 30 секунд. За семь дней, длина проростков обработанных плазмой семян в среднем достигает до 34,4 см, а длина контроля – 11,7 см, что на 22,7 см меньше. Наибольшая длина проростков при напряжении 8 кВ и частоте 0,5 кГц при времени обработки 30 секунд, где длина проростка достигает 36,2 см, что больше на 24,5 см от контроля. На этом варианте получена наибольшая всхожесть – 99,0%, что выше на 4,0% от контроля, а также длина, масса корней и проростков. При дальнейшем увеличении времени обработки эффект в сравнении с контролем нивелируется или становится отрицательным. Обработка семян яровой пшеницы эффективна при сравнительно низких по времени облучения. Увеличение по времени воздействия оказывает отрицательное влияние на семена ультрафиолета, что снижает её эффективность.

Ключевые слова: пшеница яровая (*Triticum aestivum* L.), низкотемпературная плазма, коронный разряд, напряжение, время обработки.

Введение. Высокая полевая всхожесть, энергия прорастания, нормы и способы посева, высокий процент сохранности до уборки – залог формирования высоких стабильных урожаев с хорошим качеством зерна. Следовательно, повышение всхожести и посев высококачественных семян имеют важное практическое значение в сельскохозяйственном производстве [1, 2, 3].

На практике в целях повышения всхожести семян используются несколько методов, в том числе химическая обработка (химикаты, фунгициды и др.) и физическая обработка (ультразвуковая обработка, обработка электрическим полем, магнитная обработка, обработка ионным пучком и др.). Химические методы, как правило, трудоёмкие и дорогостоящие, к тому же химические пестициды, нанесенные в процессе инкрустации на оболочку семян, способствуют загрязнению почв, грунтовых вод, а также они представляют опасность работающему персоналу.

Учеными-исследователями создаются устройства генерирующие плазму и генераторы излучения различного типа. В последние годы большое внимание уделяется физическим методам обеззараживания и защиты семян от вредоносных патогенов, в том числе низкотемпературной (холодной) плазмой. Несмотря на то, что экспериментальные установки могут различаться в зависимости от цели исследования и лабораторного оборудования, существует несколько методов, которые обычно используются в сельскохозяйственных исследованиях для получения низкотемпературной плазмы. В генераторах плазмы

используют барьерный, скользящий дуговой, искровой и коронный электрический разряды.

Большинство исследователей проводят эксперименты с коронным электрическим разрядом, который описывают таким образом: если между гладкими проводниками линии передачи или между концентрическими цилиндрами приложить потенциал и постепенно увеличивать его, то в конце концов будет достигнуто напряжение, при котором будет слышен шипящий шум, а если темно, то можно будет увидеть бледно-фиолетовый свет, окружающий проводники. Это напряжение называется критической точкой визуальной короны. Если в линию вставить ваттметр, то будут замечены потери. Потери очень быстро увеличиваются по мере того, как напряжение поднимается выше этой точки. Свечение или пробой начинаются сначала вблизи поверхности проводника, так как там наибольшая плотность потока или градиент диэлектрика. Поскольку разрушенный воздух вблизи поверхности становится проводящим, размер проводника, по сути, увеличивается за счет проводящей короны. Это увеличивается для данного напряжения до тех пор, пока плотность потока или градиент не станет ниже градиента разрыва, когда он больше не может распространяться. Если проводники расположены очень близко друг к другу, между ними немедленно возникает искра, и корона не может образоваться. Если проводники находятся далеко друг от друга, сначала образуется корона, а затем, если напряжение достаточно увеличено, искра пробивается поперек [4, 5].

Также в качестве физических методов

применяют ультразвуковую и ионно-лучевую обработки, которые повышают всхожесть семян, электромагнитная обработка так же влияет на биохимические процессы, такие как активность белков и ферментов. Однако у этих физических методов наряду с положительными влияниями на семена имеются и отрицательные. Например, сильное ультразвуковое колебание или столкновение с ионным пучком повреждают клетки семян, что приводит к уменьшению их всхожести в полевых условиях при несоблюдении агротехнических мероприятий во время проведения посевных и последующих технологических процессов [6].

Приоритетным направлением является обработка семян низкотемпературной плазмой, как высокопроизводительный, экономичный и экологичный метод, который способствует улучшению прорастания семян и их быстрому росту, что приводит к увеличению урожайности. Ряд исследователей отмечают, что при обработке семян низкотемпературной плазмой не происходило их разрушения, поскольку активные частицы проникали на глубину всего около 10 нм. Кроме того, после обработки семян низкотемпературной плазмой не выделяются загрязняющие окружающую среду вещества, поскольку для этого не применяют химические препараты [7, 8, 9].

Изучение биологического воздействия низкотемпературной плазмы, это новая и многообещающая технология в области сельского хозяйства, которая может улучшить растительный материал путем модуляции экспрессии различных генов, участвующих в прорастании семян, иммунном ответе растений на абиотический стресс. Чаще всего обрабатывают семена, чтобы улучшить их способность к росту и развитию, но можно обрабатывать и все растение в целом, чтобы обеспечить быструю адаптивную реакцию на стрессовые природные факторы [10, 11, 12].

В источниках литературы указывают, что термин «НТП» (низкотемпературная плазма, холодная плазма) обозначает состояние ионизированного газа при температуре окружающей среды с доминирующим коллективным поведением заряженных частиц. Распространенными способами получения НТП считают электрические разряды – коронный, диэлектрический барьерный, радиочастотные, микроволновые и др.

Газоразрядная низкотемпературная плазма содержит различные заряженные (ионы и электроны), нейтральные (молекулы и атомы) частицы и продукты активации плазмохимических реакций, рентгеновское и ультрафиолетовое излучение. Плазма может окислять различные микроорганизмы и разрушать не только их оболочки, но и ДНК вирусов и бактерий. Коронный разряд (КР) обычно генерирует высокое напряжение на острых электродах, таких как наконечники, острия или тонкие проволоки. Вблизи таких точек формируется электрическое поле, и возникает активная

область коронного разряда и генерации плазмы. Активная область коронного разряда появляется только вблизи точечного электрода, поэтому необходимо рассчитать расстояние от точки генерации плазмы до поверхности обрабатываемых семян. Так как близкое расположение семян к разряду действует губительно для зародыша, а ее удаленность не дает положительного эффекта [13].

Пшеница – одна из важнейших зерновых культур и широко выращивается по всему миру в качестве основного продукта питания, спрос на неё постоянно растёт. Поэтому, повышение всхожести и получение высококачественных семян пшеницы становится актуальной проблемой.

Цель исследования – разработать источник низкотемпературной плазмы и установить влияние коронного разряда плазмы на ростовые процессы в семенах яровой пшеницы.

Условия, материал и методы. Исследования проводили на базе Института искусственного интеллекта, робототехники и системной инженерии КФУ в 2022–2024 годах. В 2022 году разработали устройство для обеззараживания семян низкотемпературной плазмой и в 2023–2024 годах провели эксперименты на семенах сельскохозяйственных культур.

Объектом исследований были откалиброванные, без макротрещин и не имеющих признаков повреждения зародыша, семена яровой пшеницы сорта Архат первой репродукции. Для проведения опытов в лаборатории кафедры биомедицинской инженерии и искусственного интеллекта в биотехнических системах Института ИИРСИ КФУ разработали схему и собрали установку генерации коронного разряда низкотемпературной атмосферной плазмы [14]. Семена контрольного варианта (без обработки) и варианты с обработкой коронной атмосферной плазмой проращивали рулонным методом при температуре +20°C в ламинарном шкафу Lamsystem (страна производства Россия). Лабораторную всхожесть семян, длину проростков и корней, массу проростков и корней определяли через семь суток по ГОСТ 12038-84 [15].

Опыты проводили в десятикратной повторности, на одну повторность закладывали по 100 семян. Обработку семян коронным разрядом проводили при следующих параметрах: напряжение 4 и 8 кВ; частота 0,2 кГц; 0,3 кГц; 0,5 кГц; время обработки семян: 20, 25, 30, 35 секунд. Контролем в опытах служил вариант семян пшеницы без обработки плазмой.

Для получения плазмы с помощью коронного разряда необходим источник электрического тока с напряжением 2...10 кВ и электродная система, в которой электроды имеют большую кривизну.

Была выбрана схема низкочастотного блока питания, которая характеризуется простотой и надежностью. Недостаток низкочастотного блока – большие габариты, поскольку необходимо использовать высоковольтные

конденсаторы большой емкости. Тем не менее, была выбрана низкочастотная схема, поскольку для лабораторной установки

большие габариты не имеют большого значения. Блок-схема установки состоит из 5 частей (рис. 1).

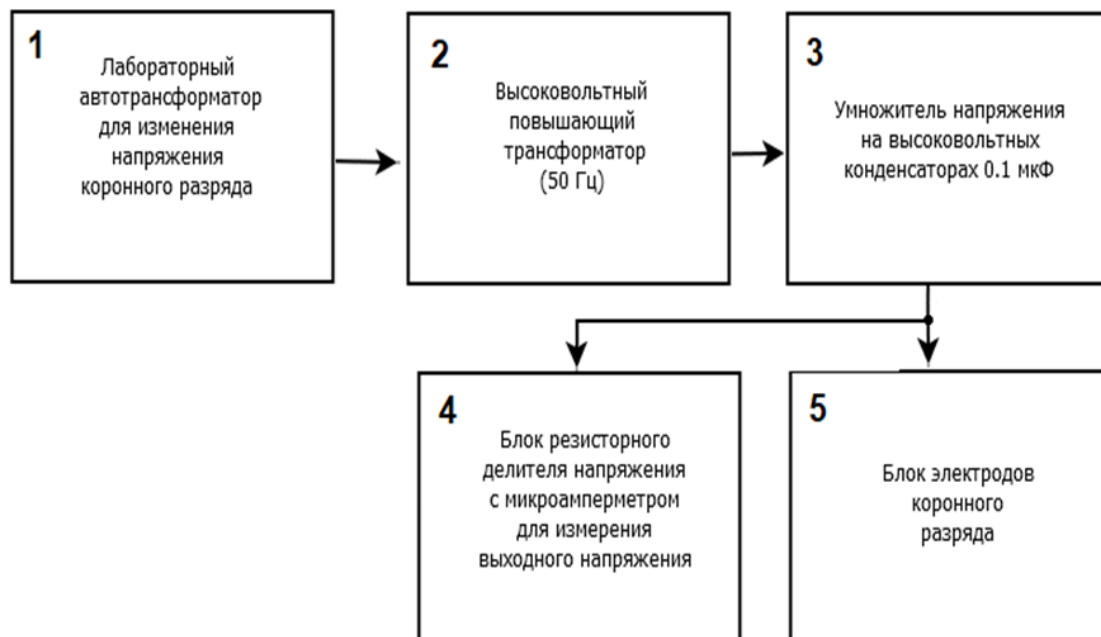


Рис. 1 – Блок схема установки

Напряжение сети поступает на лабораторный автотрансформатор, далее регулируемое напряжение подается на высоковольтный трансформатор, который повышает напряжение в десять раз.

Основной частью блока питания является умножитель, выполненный на конденсаторах C1 – C6 и диодах D1 – D6. Каждый конденсатор заряжается до амплитудного значения входного напряжения, таким образом, выходное напряжение умножается в 6 раз. Вся цепь последовательно соединенных конденсаторов заряжается за шесть периодов, то есть за 120 мс, при выходном напряжении 10 КВ, общий заряд цепи:

$$Q = \frac{CU}{n} = 0.1 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{10^4}{6} = 1.6 \cdot 10^{-4} \text{ К}$$

При разряде конденсаторов величина тока может быть около 1 мА, таким образом на процессы коронного разряда может быть затрачена мощность порядка 10 Вт.

Для измерения выходного напряжения на резисторах R1...R12 и микроамперметре реализован вольтметр для измерения высокого напряжения. Делитель напряжения на резисторах R1...R11 уменьшает выходное напряжение в 100 раз, резистором R12 ток подается на микроамперметр, показания которого пропорциональны высокому напряжению на выходе.

Полная принципиальная схема установки представлена на рис. 2.

Выходное напряжение блока питания создается умножением входного и регулируется входным лабораторным автотрансформатором.

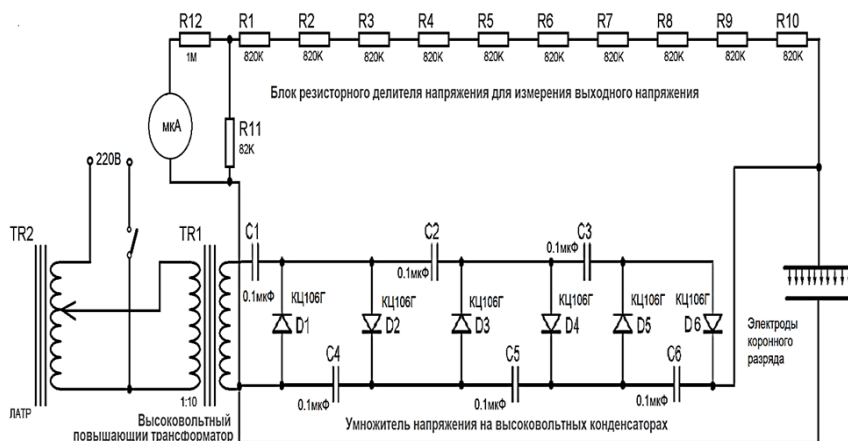


Рис. 2 – Полная принципиальная схема установки

Основным блоком, повышающим напряжение, является умножитель на диодах КЦ106Г и высоковольтных конденсатах емкостью 0,1 мкФ.

Такая большая емкость конденсаторов необходима, поскольку умножитель работает на низкой частоте 50 Гц. Предварительное увеличение напряжения обеспечивает высоковольтный трансформатор (до 2 кВ), расположенный между автотрансформатором и умножителем.

Выходное напряжение с блока питания поступает на блок электродов, большое количество игольчатых элементов верхнего электрода обеспечивает достаточно большой

объемный коронный разряд.

Семена пшеницы имеют продолговатую форму с плотной структурой. Экспериментальную обработку проводили с изменением рабочего напряжения коронного разряда и времени экспозиции семян.

Математическую обработку данных проводили по Б.А. Доспехову [16].

Результаты и обсуждение. Для выполнения исследований был разработан и изготовлен источник постоянного напряжения с регулируемым выходом 2...10 кВ и блок с игольчатыми электродами для обработки семян коронным разрядом (рис. 3).

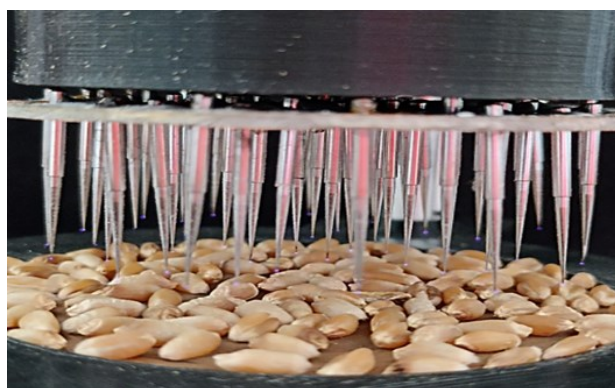


Рис. 3 – Блок электродов коронного разряда. Обработка семян яровой пшеницы

Высокое напряжение выбирали таким образом, чтобы не допустить дугового разряда между иглой верхнего электрода и основания. Коронный разряд зажигался, начиная с 2 кВ. В зависимости от расстояния между электродами дуговой разряд не возникал до 4...8 кВ, поэтому рабочее напряжение на электродах устанавливали в пределах 2...8 кВ.

Основной частью нашей установки был высоковольтный блок питания, позволяющий подавать на электроды коронного разряда (КР) напряжение до 12 кВ.

Установка представляет комплекс пяти узлов:

1. Лабораторный автотрансформатор для изменения напряжения коронного разряда;
2. Высоковольтный повышающий трансформатор (50 Гц);
3. Умножитель напряжения на высоковольтных конденсаторах 0.1 мкФ;
4. Блок резисторного делителя напряжения с микроампером для измерения выходного напряжения;
5. Блок электродов коронного разряда.

В таблице 1 представлена зависимость длины проростков от времени и частоты обработки семян плазмой при напряжении 4 кВ.

Таблица 1 – Влияние низкотемпературной плазмы на семена пшеницы яровой (*Triticum aestivum* L.) – напряжение 4 кВ, средние показатели за 2023-2024 годов

№ п/п	Напря- жение, кВ	Частота, кГц	Время обработки, сек.	Длина пророст- ков, см	Длина корней, см	Масса пророст- ков, г	Масса корней, г	Всхожесть, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Контроль (без обработки)			11,7	5,1	0,036	0,031	95,0
1.	4 кВ	0,2 кГц	20 сек.	15,8	5,6	0,047	0,035	95,2
			25 сек.	19,4	7,7	0,052	0,046	95,7
			30 сек.	21,8	9,8	0,054	0,049	96,2
			35 сек.	20,1	8,4	0,048	0,046	95,9
2.		0,3 кГц	20 сек.	22,7	10,4	0,052	0,048	96,0
			25 сек.	24,2	11,1	0,059	0,053	96,5
			30 сек.	27,1	12,3	0,067	0,061	97,0
			35 сек.	26,1	12	0,065	0,059	96,7
3.		0,5 кГц	20 сек.	27,9	11,8	0,069	0,063	96,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	4 кВ		25 сек.	29,2	12,3	0,077	0,068	97,3
			30 сек.	34,4	13,3	0,081	0,073	98,5
			35 сек.	30,9	12,7	0,076	0,068	97,3
НСР _{0,5}				8,5	6,7	0,03	0,02	1,4

При оценке зависимости длины проростков от времени и частоты обработки при напряжении 4 кВ, наибольший прирост проростков по отношению к контролю без обработки плазмой (рис. 4) наблюдали при частоте 0,5 кГц и времени обработки 30 секунд. При этом длина проростков за семь суток, обработанных

коронным разрядом семян в среднем достигает до 34,4 см (рис. 5), а длина на контрольном варианте опыта 11,7 см, что на 22,7 см короче. Наибольшая всхожесть семян наблюдается на этом же варианте – 98,5%, что больше на 3,5% от контроля без обработки плазмой.

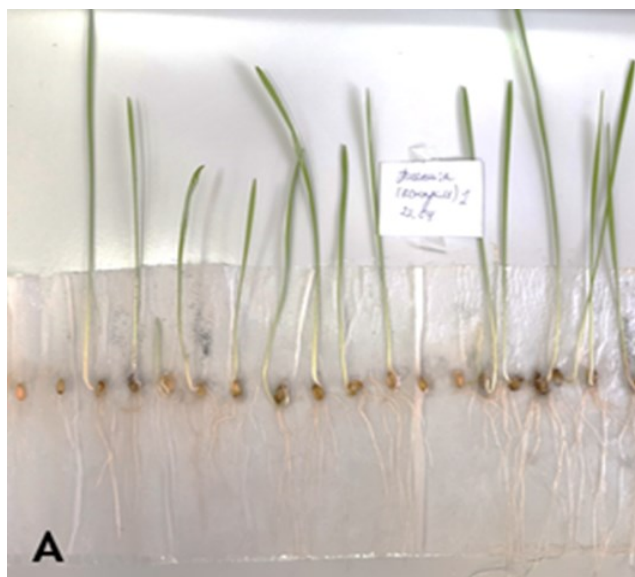


Рис. 4 – Контроль, без обработки плазмой



Рис. 5 – Семена пшеницы, обработанные низкотемпературной плазмой, напряжение 4 кВ

По длине корней – 13,3 см, массе проростков – 0,081 г и корней – 0,073 г наибольшие показатели так же на этом варианте опыта.

При дальнейшем увеличении времени обработки семян плазмой эффект в сравнении с контролем нивелируется или становится отрицательным. Обработка семян яровой пшеницы

эффективна при сравнительно низких по времени облучения. Увеличение по времени воздействия оказывает отрицательное влияние на семена ультрафиолета, что

снижает её эффективность.

В представленной таблице 2 и рисунке 6 закономерность наблюдаемых параметров повторяется.

Таблица 2 – Влияние низкотемпературной плазмы на семена пшеницы яровой (*Triticum aestivum* L.) – напряжение 8 кВ, средние показатели за 2023-2024 годы

№ п/п	Напряжение, кВ	Частота, кГц	Время обработки, сек.	Длина проростков, см	Длина корней, см	Масса проростков, гр	Масса корней, гр	Всхожесть, %
	Контроль (без обработки)			10,4	4,3	0,031	0,027	95,0
1.	8 кВ	0,2 кГц	20 сек.	17,5	4,2	0,05	0,039	95,3
			25 сек.	20,7	7,3	0,054	0,048	95,9
			30 сек.	22,9	9,2	0,058	0,052	96,4
			35 сек.	21	8,2	0,053	0,047	96,0
2.		0,3 кГц	20 сек.	24,7	11,8	0,058	0,054	96,1
			25 сек.	27,5	13,4	0,068	0,063	96,6
			30 сек.	30,9	14,7	0,072	0,069	98,0
			35 сек.	28,7	13,5	0,069	0,064	96,8
3.		0,5 кГц	20 сек.	32,8	15,3	0,073	0,068	96,0
			25 сек.	33,7	15,7	0,077	0,07	97,4
			30 сек.	36,2	16,6	0,086	0,084	99,0
				35 сек.	34,8	15,9	0,081	0,079
НСР _{0,5}				10,2	6,9	0,02	0,022	1,65

В данном варианте опыта, в котором длина проростков при применении напряжении 8 кВ и частоте 0,5 кГц наибольшая

наблюдается при времени обработки 30 секунд, длина проростка достигает 36,2 см, что больше на 24,5 см от контроля.

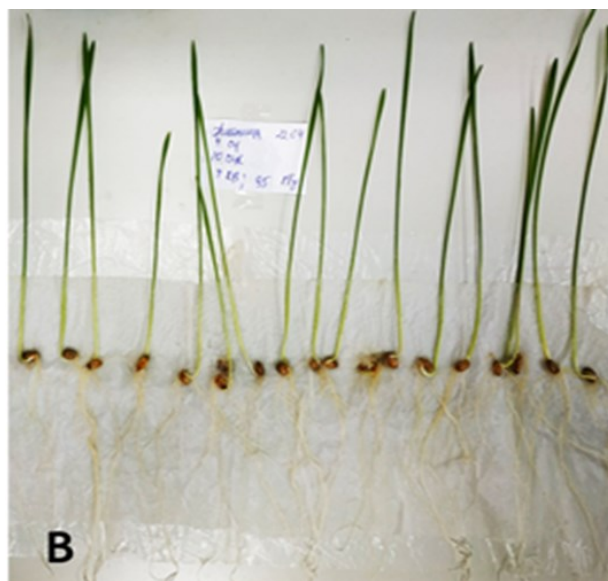


Рис. 6 – Семена пшеницы, обработанные низкотемпературной плазмой, напряжение 8 кВ

По всхожести лучший результат – 99,0% получен также на этом варианте, который превышает контроль без обработки на 4,0%.

Полученные результаты опыта обработаны статистическим методом по Б.А. Доспехову [16].

Выводы. Разработанная установка генерации коронного разряда низкотемпературной атмосферной плазмы позволяет обрабатывать семена при следующих параметрах: напряжение от 4 до 8 кВ; частота 0,2 кГц; 0,3 кГц; 0,5 кГц; время обработки семян: 20, 25, 30, 35 секунд.

Результаты, полученные в проведенном исследовании, показывают, что при обработке семян яровой пшеницы сорта Архат низкотемпературной плазмой коронного разряда с напряжением 8 кВ, частоте 0,5 кГц и времени обработки 30 секунд получены лучшие результаты по всем исследуемым параметрам. Длина проростков на данном варианте опыта достигала 36,2 см, что больше на 24,5 см от контроля. По длине, массе корней и проростков лучшие результаты также получены на этом варианте.

Обработанные низкотемпературной

плазмой коронного разряда семена 30 секунд показали всхожесть – пшеницы с напряжением 8 кВ, часто- 99,0%, что выше на 4,0% контрольного те 0,5 кГц и времени обработки варианта.

Литература

1. Изменение морфогенеза и продуктивности *Lactuca sativa* L. предпосевной обработкой семян плазмой барьерного разряда / Минич А. С., Минич И. Б., Чурсина Н. Л. и др. // Химия высоких энергий. 2021. Т. 55, № 3. С. 241–246.
2. Physicochemical surface analysis and germination at different irrigation conditions of DBD plasma-treated wheat seeds / Molina R., Lalueza A., López-Santos C., Ghobeira R., Cools P., Morent R., De Geyter N., González-Elise A. R. // Plasma Process Polym. 2021. Vol. 18. Article e2000086. https://www.researchgate.net/publication/343936432_Physicochemical_surface_analysis_and_germination_at_different_irrigation_conditions_of_DBD_plasma-treated_wheat_seeds (дата обращения 21.05.2025). doi: 10.1002/ppap.202000086
3. The modulatory effects of non-thermal plasma on seed's morphology, germination and genetics—A review / Leti L. I. et al. // Plants. 2022. Vol. 11, No. 16. P. 2181. https://www.researchgate.net/publication/362869222_The_Modulatory_Effects_of_Non-Thermal_Plasma_on_Seeds'_Morphology_Germination_and_Genetics-A_Review (дата обращения 21.05.2025) doi: 10.3390/plants11162181.
4. Development of Cold Plasma Technologies for Surface Decontamination of Seed Fungal Pathogens: Present Status and Perspectives / J. Mravljje, M. Regvar, K. Vogel-Mikuš // Journal of Fungi. 2021. No. 7(8) Article no. 650. 3. https://rosinformagrotech.ru/index.php?option=com_attachments&task=download&id=972 (дата обращения 21.05.2025).
5. Disinfection from pine seeds contaminated with *Fusarium circinatum* Nirenberg & O'Donnell using non-thermal plasma treatment / B. Šerá, A. Zahoranová, H. Bujdaková, M. Šerý // Romanian Reports in Physics. 2019. No. 71. Article no. 701. https://rosinformagrotech.ru/index.php?option=com_attachments&task=download&id=972 (дата обращения 21.05.2025).
6. Особенности применения способов обработки почвы при возделывании сои в лесостепной зоне / Нафиков М. М., Смирнов С. Г., Краснов А. В. и др. // Аграрная наука. 2024. № 4. С. 70–74. doi: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-70-74.
7. Влияние обработки семян биофизическим методом на всхожесть и фитосанитарное состояние / Нафиков М. М., Хузина Р. Р., Нафиков Ман. Мак. // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. 2023. № 1 (24). С. 14–20. doi: 10.48612/vch/h9a9-rdze-lrev.
8. Оценка глобального потепления на климат Татарстана / Шайтанов О. Л., Низамов Р. М., Захарова Е. И. // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 4(40). С. 102–112. doi: 10.24412/2309-348X-2021-4-102-112.
9. Приоритеты развития агропромышленного комплекса и задачи аграрной науки и образования / Валиев А. Р., Низамов Р. М., Сафин Р. И. и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17, № 1 (65). С. 97–107. doi: 10.12737/2073-0462-2022-97-107.
10. Развитие сельского хозяйства России и направления повышения его конкурентоспособности на международном рынке / Минаков А. В., Сафиуллин И. Н., Михайлова Л. В. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18, № 2(70). С. 191–198. doi: 10.12737/2073-0462-2023-191-198.
11. Химический состав кормов в зависимости от способов основной обработки почвы и фонов питания / Медведев В. В., Фомин В. Н., Нафиков М. М. и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15, № 1(57). С. 32–37. doi: 10.12737/2073-0462-2020-32–37.
12. Динамика макроэлементов в серой лесной почве под посевами кукурузы на зеленую массу в условиях Предволжья Республики Татарстан при внесении повышенных доз минеральных удобрений / Михайлова М. Ю., Миникаев Р. В. // Плодородие. 2020. № 3(114). С. 12–14. doi: 10.25680/S19948603.2020.114.03.
13. Various DC-driven point-to-plane discharges as non-thermal plasma sources and their bactericidal effects / Khun J., Scholtz V., Hozak P., et al. // Plasma Sources Science and Technology. 2018. Vol. 27, No. 6. Article 065002. URL: <https://www.researchgate.net/publication/324494585> (дата обращения: 21.05.2025). doi: 10.1088/1361-6595/aacba2.
14. Пат. 2781971 Российская Федерация, МПК A01C 1/02. Устройство для обеззараживания семян холодной атмосферной воздушной плазмой и способ его работы / Н. Ф. Кашапов, М. М. Нафиков, С. Г. Смирнов, Нафиков Ман. Мак.; патентообладатель: ФГАОУ ВО К(П)ФУ. - № 2022105160 : заявл. 26.02.2022 : опубл. 21.10.2022. Бюл. № 25. – 13 с.
15. ГОСТ 12038-84 - 2011. Межгосударственный стандарт. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. 2011-07-05. М.: Изд-во стандартов, 2011. 64 с.
16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд., стереотип., перепеч. с 5-го изд. М.: Альянс, 2014. 352 с.

Сведения об авторах:

Нафиков Макарым Махасимович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры биомедицинской инженерии и искусственного интеллекта в биотехнических системах, e-mail: nafikov_makarim@mail.ru
Хузина Роза Рифатовна – ассистент кафедры биомедицинской инженерии и искусственного интеллекта в биотехнических системах, e-mail: khuzinaroza@yandex.ru
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
Хисматуллин Марсель Мансурович – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры управления, государственной и муниципальной службы, e-mail: marselmansurovic@mail.ru
Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

DEVICE FOR DISINFECTING SEEDS WITH LOW-TEMPERATURE PLASMA, TESTING AND WORK RESULTS

M. M. Nafikov, R. R. Khuzina, M. M. Khismatullin

Abstract. The aim of the study is to develop a source of low-temperature corona discharge plasma and to establish the effect of plasma on growth processes in spring wheat seeds of Arkhat variety. The studies were carried out at Institute of Artificial Intelligence, Robotics and Systems Engineering of Kazan (Volga region) Federal University" (KFU) in 2022-2024 in the laboratory of Biomedical Engineering and Artificial Intelligence in Biotechnical Systems Department. Seed treatment with corona discharge was carried out under the following parameters: voltage of 4 and 8 kV; frequency of

0.2 kHz; 0.3 kHz; 0.5 kHz; the distance of seeds from the plasma torch is 3 cm; seed treatment time 20, 25, 30, 35 seconds. The seeds of the control variant without plasma treatment and variants with atmospheric corona plasma treatment were germinated by the roll method in a Lamsystem laminar cabinet. At a voltage of 4 kV, the greatest increase in the length of sprouts in relation to the control was observed at a frequency of 0.5 kHz and a time of 30 seconds. In seven days, the length of the sprouts of plasma-treated seeds on average reaches 34.4 cm, and the length of the control variant is 11.7 cm, which is 22.7 cm less. The greatest length of sprouts is at a voltage of 8 kV and a frequency of 0.5 kHz with a treatment time of 30 seconds, where the length of the sprout reaches 36.2 cm, which is 24.5 cm more than the control. This variant yielded the highest germination rate – 99.0%, which is 4.0% higher than the control, as well as the length and weight of roots and sprouts. With a further increase in the treatment time, the effect in comparison with the control variant is leveled or becomes negative. Treatment of spring wheat seeds is effective at relatively low irradiation times. An increase in the exposure time has a negative effect on the seeds of ultraviolet radiation, which reduces its effectiveness.

Key words: spring wheat (*Triticum aestivum* L.), low-temperature plasma, corona discharge, voltage, treatment time.

References

1. Minich AS, Minich IB, Chursina NL. [Changes in *Lactuca sativa* L. morphogenesis and productivity by pre-sowing treatment of seeds with barrier discharge plasma]. *Khimiya vysokikh energiy*. 2021; Vol.55. 3. 241-246 p.
2. Molina R, Lalueza A, Lopez-Santos C, Ghobeira R, Cools P, Morent R, De Geyter N, Gonzalez-Elipse AR. Physico-chemical surface analysis and germination at different irrigation conditions of DBD plasma-treated wheat seeds. [Internet]. *Plasma Process Polym*. 2021; Vol.18. Article e2000086. [cited 2025, May 21]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/343936432_Physicochemical_surface_analysis_and_germination_at_different_irrigation_conditions_of_DBD_plasma-treated_wheat_seeds. doi: 10.1002/ppap.202000086
3. Leti LI. The modulatory effects of non-thermal plasma on seed's morphology, germination and genetics. A review. [Internet]. *Plants*. 2022; Vol.11. 16. 2181 p. [cited 2025, May 21]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/362869222_The_Modulatory_Effects_of_Non-Thermal_Plasma_on_Seeds'_Morphology_Germination_and_Genetics-A_Review. doi: 10.3390/plants11162181
4. Mravlje J, Regvar M, Vogel-Mikus K. Development of cold plasma technologies for surface decontamination of seed fungal pathogens: present status and perspectives. [Internet]. *Journal of Fungi*. 2021; 7(8) Article no.650. 3. [cited 2025, May 21]. Available from: https://rosinformagrotech.ru/index.php?option=com_attachments&task=download&id=972.
5. Sera B, Zahoranova A, Bujdakova H, Sery M. Disinfection from pine seeds contaminated with *Fusarium circinatum* Nirenberg & O'Donnell using non-thermal plasma treatment. [Internet]. *Romanian Reports in Physics*. 2019; No.71. Article no.701. [cited 2025, May 21]. Available from: https://rosinformagrotech.ru/index.php?option=com_attachments&task=download&id=972.
6. Nafikov MM, Smirnov SG, Krasnov AV. [Features of soil cultivation methods application in soybeans cultivation in the forest-steppe zone]. *Agrarnaya nauka*. 2024; 4. 70-74 p. doi: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-70-74.
7. Nafikov MM, Khuzina RR, Nafikov Man.Mak. [The effect of seed treatment by biophysical method on germination and phytosanitary condition]. *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; 1(24). 14-20 p. doi: 10.48612/vch/h9a9-rdze-lrev.
8. Shaytanov OL, Nizamov RM, Zakharova EI. [Assessment of global warming on the climate of Tatarstan]. *Zernobobovye i krupnyanye kultury*. 2021; 4(40). 102-112 p. doi: 10.24412/2309-348Kh-2021-4-102-112.
9. Valiev AR, Nizamov RM, Safin RI. [Priorities for the agro-industrial complex development and tasks of agricultural science and education]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; Vol.17. 1(65). 97-107 p. doi: 10.12737/2073-0462-2022-97-107.
10. Minakov AV, Safiullin IN, Mikhaylova LV. [Development of Russian agriculture and directions for increasing its competitiveness in the international market]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023; Vol.18. 2(70). 191-198 p. doi: 10.12737/2073-0462-2023-191-198.
11. Medvedev VV, Fomin VN, Nafikov MM. [Chemical composition of feed depending on the methods of primary tillage and nutritional backgrounds]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020; Vol.15. 1(57). 32-37 p. doi: 10.12737/2073-0462-2020-32-37.
12. Mikhaylova MYu, Minikaev RV. [Dynamics of macronutrients in gray forest soil under corn crops for green mass in the conditions of Volga region of the Republic of Tatarstan with the application of increased doses of mineral fertilizers]. *Plodorodie*. 2020; 3(114). 12-14 p. doi: 10.25680/S19948603.2020.114.03.
13. Khun J, Scholtz V, Hozak P, Various DC-driven point-to-plane discharges as non-thermal plasma sources and their bactericidal effects. [Internet]. *Plasma Sources Science and Technology*. 2018; Vol.27. 6. Article 065002. [cited 2025, May 21]. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/324494585>. doi: 10.1088/1361-6595/aacba2.
14. Kashapov NF, Nafikov MM, Smirnov SG, Nafikov Man.Mak. [Device for disinfecting seeds with cold atmospheric air plasma and its method of operation]. Patent № 2781971 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A01C 1/02. patentooblada-tel: FGAOU VO K(P)FU. № 2022105160: declared 26.02.2022: published 21.10.2022. bulletin № 25. 13 p.
15. GOST 12038-84-2011. Mezhhgosudarstvennuy standart. Semena sel'skokhozyaystvennykh kultur. Metody oprede-leniya vskhozhesti. [Interstate standard. Seeds of agricultural crops. Methods for determining germination]. 2011-07-05. Moscow: Izd-vo standartov. 2011; 64 p.
16. Dospekhov BA. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy). [Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)]. 6th edition, stereotype., reprinted from the 5th edition. Moscow: Alyans. 2014; 352 p.

Authors:

Nafikov Makarim Makhasimovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Biomedical engineering and artificial intelligence in biotechnical systems Department, e-mail: nafikov_makarim@mail.ru
 Khuzina Roza Rifatovna – Assistant of Biomedical engineering and artificial intelligence in biotechnical systems Department, e-mail: khuzinaroza@yandex.ru
 Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia
 Khismatullin Marsel Mansurovich – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of Department of public and municipal service management, e-mail: marselmansurovic@mail.ru
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.