

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

А.Ф. Триандафилов, А.Ю. Лобанов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Республики Коми, Сыктывкар
E-mail: nipti@bk.ru

Аннотация. Проведены исследования по воздействию кавитации, создаваемой электрогидравлической установкой, на водные растворы минеральных удобрений с целью повышения эффективности их действия. Исследования были проведены на картофеле с применением различных доз минеральных удобрений, обработанных электрическими разрядами с интенсивностью обработки 300 и 600 импульсов на 1 дм³. В результате исследований было установлено, что применение водных растворов минеральных удобрений повышает урожайность картофеля на 40 % и положительно влияет на его качество.

Ключевые слова: минеральные удобрения, электрогидравлическая обработка, урожайность, картофель

Введение

По данным ФГБУ «САС «Сыктывкарская», максимальное количество элементов питания из почвы выносятся с картофелем при урожайности в 150 ц/га (азота – 90 кг/га, фосфора в пересчете на P₂O₅ – 100 кг/га, калия в пересчете на K₂O – 150 кг/га). Компенсация выносимых элементов питания осуществляется в основном за счет вносимых органических и минеральных удобрений, усвояемость которых составляет 30–40 % (Краткие рекомендации ..., 2000). Минеральные удобрения в АПК Российской Федерации вносятся в основном механизировано путем их разбрасывания в сухом виде. Жидкие комплексные удобрения значительно эффективнее сухих при горячем смешивании, но требуют значительных капитальных вложений, поэтому объем их использования незначителен. Одним из способов снижения затрат на приготовление жидких минеральных удобрений является использование кавитации, с помощью которой возможны не только ионизация, но и повышение температуры водных растворов удобрений непосредственно в полевых условиях.

Применение электродинамической кавитации, источником которой является электрогидравлический эффект, открывает новые возможности в сельском хозяйстве в плане изменения свойств биологических материалов в результате воздействия активной зоны поляризации элементарных частиц, что, несомненно, относится к компетенции нано-технологий.

Подводный искровой разряд – электрогидравлический эффект (ЭГЭ) – представляет интерес как процесс «быстрого» преобразования электрической энергии, накопленной в конденсаторной батарее, в механическую энергию ударных волн и расходящегося потока жидкости.

В основе ЭГЭ лежит ранее неизвестное явление резкого увеличения гидравлического и гидродинамического эффектов и амплитуды ударного действия при осуществлении импульсного электрического разряда в ионопроводящей жидкости

при условии максимального укорочения длительности импульса, максимально крутом фронте импульса и форме импульса, близкой к апериодической (Юткин, 1986).

Для ЭГЭ характерен режим выделения энергии на активном сопротивлении контура, близком к критическому. Отсюда следует, что основными факторами, определяющими возникновение электрогидравлического эффекта, являются амплитуда крутизны фронта, форма и длительность импульса тока. Длительность импульса тока может измеряться в микросекундах, поэтому мгновенная мощность импульса тока может достигать сотен тысяч киловатт (Кнэпп, 1974). Основными действующими факторами ЭГЭ являются высокие и сверхвысокие импульсные гидравлические давления, приводящие к появлению ударных волн со звуковой и сверхзвуковой скоростями; значительные импульсные перемещения объемов жидкости, совершающиеся со скоростями, достигающими сотен метров в секунду; мощные импульсно возникающие кавитационные процессы, способные охватить относительно большие объемы жидкости; инфра- и ультразвуковые излучения; мощные электромагнитные поля (десятки тысяч эрстед); интенсивные импульсные световые, тепловые, ультрафиолетовые, а также рентгеновские излучения; многократная ионизация соединений и элементов, содержащихся в жидкости (Пирсол, 1975 ; Федоткин, 1997). Все эти факторы позволяют оказывать на жидкости и объекты, помещенные в нее, весьма разнообразное физическое и химическое воздействия. Мощность разряда определяется из следующего условия:

$$N(t) = Pk \frac{dS}{dT} + \frac{1}{\gamma-1} \frac{dPkS}{dT}, \quad (1)$$

где Pk – давление в канале; $S = \pi a^2$ (a – радиус канала); γ – эффективный показатель адиабаты плазмы ($\gamma = 1.26$); $N(t)$ – мощность, выделяющаяся в канале на единицу длины.

Давление вокруг канала разряда Pk рассчитывается из следующего выражения (Юткин, 1986):

$$Pk - P_0 = \frac{p_0}{4\pi r} \int_{-1/2}^{1/2} s \left(t - \frac{r}{c_0} \right) d\varepsilon, \quad (2)$$

где P_0 – гидростатическое давление, кПа; ρ_0 – плотность невозмущенной жидкости, кг/м³; C_0 – скорость звука невозмущенной жидкости, м/с; ε – координата, направленная вдоль оси канала разряда, м; $r = r_0 - \varepsilon \cos\theta$, где r_0 – координата, направленная перпендикулярно к оси цилиндра и проходящая через его середину, м; θ – угол между осью цилиндра и направлением в точку наблюдения.

На основе вышеприведенных расчетов разработано устройство для электрогидравлической обработки водных растворов минеральных удобрений (Доброхотов, 1974).

Методика

Для оценки эффективности электрогидравлической обработки водных растворов минеральных удобрений заложили полевой опыт с использованием комплексных минеральных удобрений: N – 5.3 кг, P₂O₅ – 5.2 кг, K₂O – 9.18 кг действующего вещества на единицу площади опытного участка.

Почва на опытном участке – дерново-подзолистая, имеет следующие значения агрохимических показателей: массовая доля гумуса – 3.94 %; водородный показатель солевой вытяжки, рН_{сол.} – 6.67; гидролитическая кислотность – 1.5 ммоль/100 г; массовая доля азота – 98 мг/кг; массовая доля фосфора в пересчете на P₂O₅ – 1243.5 мг/кг; массовая доля калия в пересчете на K₂O – 177.1 мг/кг; количество кальция (CaO) в 100 г почвы – 13.5 ммоль/100 г; количество магния (MgO) в 100 г почвы – 1.94 ммоль/100 г.

В контрольном варианте вносили расчетную дозу действующего вещества минеральных удобрений в сухом виде. Для опытных вариантов использовали водный раствор удобрений с массовой долей 10 %, который был обработан с помощью электрогидравлической установки постоянным током с напряжением 50 кВ и интенсивностью 300 и 600 импульсов/дм³. Внесение обработанных водных растворов удобрений проводили в два этапа: при посадке (01.06.2017 г.) и по всходам после механической обработки междурядий (12.07.2017 г.). Посадка картофеля проведена на учетной делянке площадью 7.5 м² по схеме 70×30 в семи вариантах четырехкратной повторности.

Для составления математической модели влияния обработанных водных растворов минеральных удобрений провели двухфакторный эксперимент по следующей схеме:

Кодированное обозначение фактора	Название фактора, его обозначение и единица измерения	Уровень фактора	
		Нижний -1	Верхний +1
x_1	Доза минеральных удобрений, Q, кг/м ²	0.5	1
x_2	Количество разрядов, N, импульсов на 1 дм ³	300	600

Математическая обработка экспериментальных данных включает в себя проверку адекватности полученных моделей и однородности дисперсий измеряемых величин. Проверку однородности дисперсий при одинаковом числе повторений измерений в опыте оценивали по критерию Кохрена G_{on} , который определяется как отношение наибольшей построчной дисперсии $\delta_{i\ max}^2$ к сумме построчных дисперсий $\sum_{i=1}^n \delta_i^2$. Вычисленное значение G_{on} сравнивали с $G_{мас}$. Если $G_{on} < G_{мас}$, то дисперсии однородны и можно проводить регрессионный анализ. Регрессионный анализ проводили с помощью ЭВМ в программах Microsoft Excel 2007 и Statgrafic Plus 5.1.

Проверку адекватности моделей проводили по критерию Фишера при уровне значимости 5 %.

$$F_{\phi} = \frac{S_{LF}^2}{S_y^2}, \quad (3)$$

где S_{LF}^2 – дисперсия адекватности математической модели; S_y^2 – дисперсия погрешности экспериментальных результатов измерений.

Для определения табличного значения критерия Фишера рассчитывали число степеней свободы для числителя f_1 и знаменателя f_2 .

Количественный химический анализ на содержание химических соединений и элементов в исследуемых растворах был проведен в экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Результаты исследований

В результате проведения полевого опыта по оценке влияния водных растворов минеральных удобрений на урожайность и качество картофеля выявлены следующие закономерности, отображенные в табл. 1 и 2:

- наибольшую прибавку урожайности обеспечивает вариант с применением полной дозы минеральных удобрений, обработанных с частотой 300 импульсов на 1 дм³;

- применение водных растворов минеральных удобрений, обработанных с помощью электродинамической кавитации, позволяет сократить их применение в два раза при сохранении урожайности на уровне стандартной технологии;

- наибольшую прибавку сухого вещества и крахмала обеспечивает обработка минеральных удобрений с частотой 600 импульсов на 1 дм³;

- обработка минеральных удобрений с частотой 600 импульсов на 1 дм³ сокращает содержание нитратов в картофеле по сравнению со стандартной технологией.

Уравнение регрессии по влиянию изучаемых факторов на урожайность картофеля построено на основании данных табл. 3. В результате математической обработки результатов эксперимента по влиянию изучаемых факторов в ко-

Таблица 1

Урожайность картофеля

№	Вариант	Количество клубней в кусте (среднее), шт.	Средняя масса клубней в кусте, кг	Урожайность, т/га	Относительно контроля, %
1	Контроль	8.5	0.279	13.28	–
Интенсивность ЭГЭ – 300 импульсов на 1 дм ³					
2	0.5Q	9.0	0.291	13.87	4.5
3	0.75Q	12.5	0.305	14.51	9.3
4	1.0Q	12.5	0.393	18.85	41
Интенсивность ЭГЭ – 600 импульсов на 1 дм ³					
5	0.5Q	9.5	0.274	13.02	–1.9
6	0.75Q	9.0	0.325	15.50	16.7
7	1.0Q	10.5	0.340	16.20	22
	HCP _{0,5}		0.047	2.2	

дированном виде на урожайность картофеля уравнение регрессии приняло следующий вид:

$$Y = 15.48 + 2.04x_1 - 0.87x_2 - 0.45x_1x_2. \quad (4)$$

В результате химического анализа водных растворов минеральных удобрений, обработанных на электрогидравлической установке с частотой 300 и 600 импульсов 1 дм³ (табл. 4), установлено увеличение концентрации ионов NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, элементов N, P, K, S, необходимых для выращивания картофеля пропорционально интенсивности электрогидравлической обработки.

Таблица 2

Химический состав клубней картофеля

№	Варианты	Урожайность, т/га	Массовая доля			Содержание витамина С, мг%
			Сухого вещества, %	Крахмала, %	Нитратов, мг/кг	
1	Контроль	13.28	14.70	8.76	179	10.56
3	0.75Q (300)	14.51	15.86	9.68	202	11.26
4	1.0Q (300)	18.70	18.85	13.37	207	12.67
6	0.75Q (600)	15.50	20.09	14.47	156	10.74
7	1.0Q (600)	16.20	21.01	13.99	191	13.02

Таблица 3

Влияние изучаемых факторов на урожайность картофеля

Вариант	Количество клубней в кусте (среднее), шт.	Средняя масса клубней в кусте, кг	Урожайность, т/га
Интенсивность ЭГЭ – 300 импульсов на 1 дм ³			
0.5Q	9.0	0.291	13.87
1.0Q	12.5	0.393	18.85
Интенсивность ЭГЭ – 600 импульсов на 1 дм ³			
0.5Q	9.5	0.274	13.02
1.0Q	10.5	0.340	16.20
HCP _{0,5}		0.047	2.2

Заключение

В результате изучения влияния электродинамической обработки водных растворов минеральных удобрений установлено, что их применение при выращивании картофеля позволяет увеличить урожайность на 41 %, содержание сухого веществ на 27.2 %, содержание крахмала на 65 % с одновременным сокращением дозы применяемых удобрений по сравнению с традиционной технологией. Получено уравнение регрессии, описывающее влияние на урожайность картофеля применяемой дозы и способа обработки.

Работа выполнена в рамках государственного задания № ГЗ 0674-2016-0002.

Таблица 4

Результаты химического анализа обработанных водных растворов минеральных удобрений на электрогидравлической установке

Проба	NH ₄ ⁺ , мг/дм ³		NO ₃ ⁻ , мг/дм ³		NO ₂ ⁻ , мг/дм ³		N _{общ} , мг/дм ³		ТС*, мг/дм ³		IC**, мг/дм ³	
	с	±Δ	с	U	с	U	с	±Δ	с	±Δ	с	±Δ
300	>100 (282)	–	0.38	0.13	0.175	0.024	550	60	118	12	100	10
600	>100 (617)	–	0.54	0.18	0.27	0.04	720	70	252	25	200	20
Проба	P _{общ} , мг/дм ³		S _{общ} , мг/дм ³		Cl ⁻ , мг/дм ³		Ca, мг/дм ³		Mg, мг/дм ³		Na, мг/дм ³	
	с	U	с	U	с	±Δ	с	U	с	U	с	U
300	1200	240	2500	400	2300	300	16.1	2.6	1.95	0.29	179	27
600	2400	500	5600	1000	4800	600	9.6	1.5	1.45	0.22	380	60
Проба	K, мг/дм ³		Fe, мг/дм ³		Mn, мг/дм ³		Zn, мг/дм ³		Cu, мг/дм ³		Pb, мг/дм ³	
	с	U	с	U	с	U	с	U	с	U	с	U
300	2200	400	<0.05	–	58	14	<5.0	–	48	20	<4.0	–
600	6900	1100	<0.05	–	59	14	<5.0	–	210	60	<4.0	–
Проба	Cd, мг/дм ³		Ni, мг/дм ³		Co, мг/дм ³		Al, мг/дм ³					
	с	U	с	U	с	U	с	U				
300	<0.20	–	2.5	1.1	<1.0	–	18	6				
600	<0.20	–	3.3	1.4	<1.0	–	57	14				

* ТС – общее содержание углерода; ** IC – содержание углерода в составе неорганических соединений.

ЛИТЕРАТУРА

Доброхотов, С. В. Исследования процесса гидроимпульсной подачи жидкости в почву : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / С. В. Доброхотов. – Москва, 1974. – 21 с.

Кнэпп, Р. Кавитация / Р. Кнэпп, Д. Дейл, Ф. Хэммит. – Москва : Мир, 1974. – 678 с.

Краткие рекомендации по снижению издержек производства и сохранения плодородия почв в условиях дефицита финансовых и материальных средств / сост. Г. Т. Шморгунов [и др.]. – Сыктывкар, 2000. – 58 с.

О некоторых особенностях развития подводных искровых разрядов / В. В. Иванов, Г. А. Гулый, И. С.

Швец, А. В. Иванов // II сборник научных трудов. – Киев : Наукова думка, 1979. – С. 151.

Пирсол, И. Кавитация / И. Пирсол. – Москва : Мир, 1975. – 96 с.

Федоткин, И. М. Кавитация. Кавитационная техника и технологии, их использование в промышленности (теория, расчеты и конструкции кавитационных аппаратов). Ч. 1. / И. М. Федоткин, Н. С. Гулый. – Киев : Полиграфкниг, 1997. – 940 с.

Юткин, Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л. А. Юткин. – Ленинград : Машиностроение, 1986. – 253 с.

APPLICATION OF ELECTRODYNAMIC CAVITATION FOR INCREASING THE EFFECTIVENESS OF WATER SOLUTIONS OF MINERAL FERTILIZERS

A.F. Triandafilov, A.Y. Lobanov

Research Institute of Agriculture of the Komi Republic, Syktyvkar

Summary. We studied the influence of cavitation created by an electrohydraulic installation on aqueous solutions of mineral fertilizers aimed at the increasing efficiency of active substance in the cultivation of potatoes under unfavorable climatic conditions of non-chernozem zone of the Russian Federation. The electrohydraulic effect is a process of «rapid» conversion of electrical energy stored in a capacitor bank into mechanical energy of shock waves and a divergent fluid flow, which provides addition solution ionization. Water solutions of mineral fertilizers treated with an intensity of 300 and 600 electrohydraulic impulses per 1 dm³ and a power of 125 W were applied locally in accordance with the experimental layout and calculated dose of mineral fertilizers. Field experiment with the use of complex mineral fertilizers was performed on the basis of FGBNU NIISK of the Komi Republic. Based on agrochemical soil composition, the need for mineral fertilizers was determined: nitrogen (N) – 5.3 kg; phosphorus (P) in terms of P₂O₅ – 5.2 kg; potassium (K) in terms of K₂O – 9.18 kg of active substance per unit area of the model site. In the control, mineral fertilizers were added in dry form. 10% water solution of fertilizers was used. This solution was added during two stages: planting and seedlings after spacing the rows. Planting of potato was carried out at 7.5 m² model plot according to the 70 * 30 scheme in four replicates. The number of experiment variants was seven. The use of water solutions of mineral fertilizers after processing with electrohydraulic cavitation increased the yield by 16.7–41 %, the dry substance content by 28.2–42.9% and the starch by 52.6–65.1 %. The adequacy of the mathematical model of the experiment and 87 % regression equation confirmed the results of the research.

Key words: mineral fertilizers, electrohydraulic processing, productivity, potato