

**В. В. Фомиченко, А. Б. Голованчиков, В. И. Лысак,  
Е. Э. Нефедьева, И. Г. Шайхиев**

## **УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН УДАРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ**

*Ключевые слова:* ударная волна, импульсное давление, продуктивность растений, взрывчатое вещество, кольцевой электрод.

*Предпосевная обработка семян импульсным давлением (ИД) способствует повышению продуктивности растений от 14-20% до 1,5 раз. Были разработаны конструкции устройств для обработки семян, обеспечивающие создание давлений от 10 до 30 МПа и обеспечивающие быстрое затухание пикового давления, в которых ИД создается путем подрыва различного рода взрывчатых веществ (ВВ): твердых и газообразных. Первое устройство основано на детонации ВВ, в результате которой возникает ударная волна (УВ), передающаяся через воду на семена, однако на семена действуют продукты детонации, растворимые в воде. В другом устройстве ВВ расположено снаружи контейнера, в котором производится обработка, что исключает действие продуктов детонации на семена. Для исключения ВВ из схемы обработки семян предложено создавать ИД путем подрыва газообразной смеси, образующейся в результате электролиза воды на кольцевом электроде. В разработанных конструкциях решена сложная техническая задача создания высокого ИД.*

*Keywords:* shock wave, impulse pressure, productivity of plants, explosive, annular electrode.

*Presowing treatment of seeds impulse pressure (IP) helps to improve the productivity of plants from 14-20% to 1,5 times. There were developed the design of devices for processing of seeds to ensure pressures from 10 to 30 MPa and provide for a rapid decay of the peak pressure, in which the IP is created by the undermining of the various kinds of explosives): solid and gaseous. The first unit is based on the detonation of explosives, as a result of which there is the shock wave, which is passed through the water on the seeds, however, the seeds are products of detonation, soluble in water. In the other device centuries are located on the outside of the container, in which the treatments are carried out, which excludes the effect of detonation products on the seeds. To exclude the centuries from the scheme of processing of seeds offered to create an IP by the undermining of the gaseous mixture, formed as a result of electrolysis of water on the annular electrode. In the developed constructions solved the complex technical task of creating a high IP.*

Давление, наряду с различными физическими воздействиями [7, 13], является фактором, оказывающим влияние на растения. В растительной клетке действуют осмотическое и тургорное давление, определяющие направление передвижения воды и зависящие, как от свойств самой клетки, так и от содержания воды и растворенных веществ в тканях и окружающей среде. В растении существуют корневое давление, а также внутреннее давление, возникающее при росте тканей, движениях, действии гравитации и перемещениях веществ. У насекомоядных растений ловчие аппараты устроены по принципу рецепции давления. В клетке существуют системы рецепции давления, связанные с сигнальными системами, формирующими клеточный ответ [5, 20]. Исследования, проводимые как на животных [4, 16, 21], так и на растительных клетках [1, 17, 18], показывают, что давления и механические напряжения, возникающие в процессе роста клеток, являются факторами роста и дифференцировки клеток.

Нами предложен метод предпосевной обработки семян импульсным давлением (ИД) для повышения продуктивности растений [6], который соответствует указанным требованиям. Малые дозы (11 МПа) привели к повышению продуктивности на 14-20 % за счет общего усиления жизнедеятельности. Высокие дозы (29 МПа) способствовали снижению всхожести, а также изменению донорно-акцепторных отношений, усилению притока пластических веществ в плоды и увеличению продуктивности от 1,5 раз [6].

Крайне быстрое проявление действия давления представляет собой основной характерный признак взрыва. Следствием быстроты возникнове-

ния давления и его большой величины является исключительная мощность [1, 10]. Разрушающее действие взрыва нельзя отнести за счет большой энергии, поскольку теплота взрывчатого превращения, например, тротила, составляет  $1000 \text{ ккал}\cdot\text{кг}^{-1}$ , а теплота сгорания древесины –  $4500 \text{ ккал}\cdot\text{кг}^{-1}$ . Основная причина действия взрыва заключается в том, что энергия выделяется крайне быстро, в течение сотых долей секунды [1]. В связи с вышеизложенным, маловероятно механическое разрушение семян, а главной причиной последующих изменений ростовых и продукционных процессов растений является изменение физико-химического состояния биополимеров семян. Следовательно, при разработке конструкций устройств для обработки семян следует учитывать необходимость быстрого затухания пикового давления.

Цель настоящей работы - создание устройств для предпосевной обработки семян импульсным давлением.

Для проведения предпосевной обработки семян разработаны конструкции аппаратов, в которых ИД при обработке семян создается путем подрыва различного рода взрывчатых веществ (ВВ): твердых и газообразных.

Известно [1, 14], что энергия взрыва используется в военном деле, горной промышленности для вскрытия месторождений, проходки подготовительных выработок и откола полезных ископаемых в шахтах, на рудниках и карьерах, для преграждения или расчистки русла рек, прокладки дорог через болота, тушении пожаров, сейсмозаземки, разрушении каменных строений, клепки, резания, сварки

[19], штамповки [11], взрывного прессования, синтеза и измельчения веществ [3].

Работа первого устройства (рис. 1) основана на детонации ВВ, в результате которой возникает ударная волна (УВ). Последняя передается через воду на семена и создает объемное сжатие в течение 14-25 мксек. ИД на фронте ударной волны рассчитывали по формуле [11]:

$$P = 53,3 \cdot \left( \frac{Q^{1/3}}{R} \right)^{1,13}, \quad (1)$$

где  $P$  – давление, МПа;  $Q$  – масса заряда ВВ, кг;  $R$  – расстояние от центра взрыва до поверхности семян, м.

Обработка семян проводилась в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1.

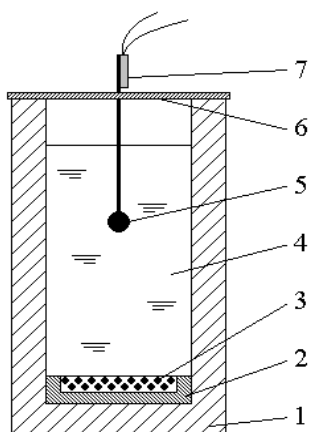


Рис. 1 - Схема устройства для обработки семян ИД

На дно контейнера из нержавеющей стали (1) укладывались поролоновые кассеты (2) с сухими семенами (3), закрытыми сетчатым материалом. Контейнер (1) заполнялся водой (4). Под слоем последней закреплялось водостойкое ВВ (5) с массой  $Q$  на расстоянии  $R$  от поверхности семян в соответствии с формулой (3).

При отражении от поверхности раздела вода - воздух ударная волна меняет знак и приходит к поверхности обрабатываемого материала в виде волны разрежения, что ведет к искажениям величины давления и профиля ударной волны. Для того, чтобы исключить данное явление, надо рассчитать минимальное расстояние ( $L_{\min}$ ) от заряда ВВ до поверхности воды [11]:

$$L_{\min} = 3,5 \cdot c_0 \cdot 10^{-4} \cdot Q^{1/3} \left( \frac{R}{Q^{1/3}} \right)^{0,24}, \quad (2)$$

где  $c_0$  – скорость звука в среде.

Расчеты показывают, что в используемых схемах минимальная толщина слоя воды над поверхностью заряда ВВ должна быть не менее 7 см. После обработки семена высушивались при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния. Контрольные семена замачивались в воде в течение времени, соответствовавшего продолжительности пребывания в воде семян при обработке ИД, и под-

сушивали. Способ обработки семян запатентован [12]. Достоинством метода является возможность точной дозировки воздействия, учитывая его уникально малую продолжительность.

В качестве среды, через которую УВ передается на семена, выбрали воду. Чем плотнее среда, в которой распространяется ударная волна, тем больше используется энергия взрыва. Вода – наиболее дешевое вещество, которое обеспечивает высокий коэффициент использования энергии взрыва и задерживает разлет отходов и осколков, возникающих в результате взрыва [11].

При использовании схемы, приведенной на рис. 1, на семена действуют продукты детонации, растворимые в воде (азотистая, азотная и угольная кислоты), что влияет на их жизнеспособность.

На рис. 2 показано устройство для обработки семян ударной волной в водной среде [10]. Способ обработки семян реализуется следующим образом.

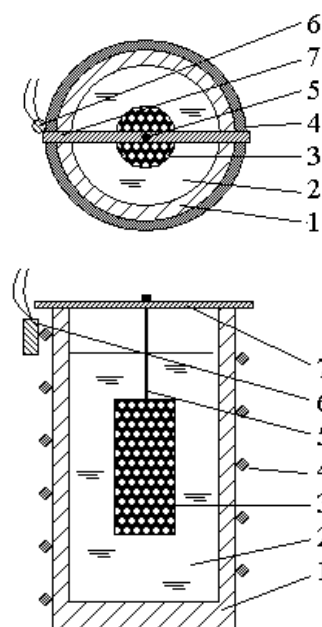


Рис. 2 – Устройство для предпосевной обработки семян [Пат. РФ 2377753]: а – в разрезе, б – вид сверху

Семена помещаются в перфорированный цилиндрический контейнер 3 из водостойкого химически инертного вещества, который закрепляется при помощи проволоочной петли 5 на металлической планке 7 в стальном цилиндрическом контейнере 1. После чего последний заполняется водой 2, чтобы перфорированный цилиндрический контейнер 3 был погружен в воду на 5-7 см. Отношение диаметра перфорированного контейнера 3 к диаметру стального контейнера 1 должно составлять 1:5. Семена благодаря структуре перфорированного контейнера 3 оказываются взвешенными в воде. Затем на стальной контейнер 1 наматывается детонирующий шнур 4. Зная величину давления, необходимую для обработки семян ( $40-45 \text{ кг-см}^{-2}$ ), рассчитывалась масса ВВ. К детонирующему шнуру 4 прикрепляется электродетонатор 6, после чего производится взрыв.

Возникающая при взрыве ударная волна высокого давления вызывает движение стенок контейнера 1 с высокой скоростью, в результате чего в воде возникает ударная волна, которая передается на семена. Преимущества данного метода по сравнению с предыдущим заключаются в более равномерном воздействии давления на семена, отсутствии влияния продуктов детонации на последние, а также в ускорении проведения последующих операций по извлечению семян из контейнера и сушке.

После извлечения из контейнера 1 семена во влажном состоянии, не вынимая из перфорированного контейнера 3, сушатся до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре и относительной влажности воздуха не более 60 %. Семена, прошедшие обработку, высеиваются в почву.

Расчет давления в ударной волне ( $p_2 - p_1$ ), равного 40-45 кг·см<sup>-2</sup>, приводился для идеальной среды и адиабатного процесса согласно [2; 14]. Принимали  $\rho_{ВВ}$ ,  $H_{ВВ}$ ,  $d$  – соответственно плотность, высота заряда и скорость детонации ВВ,  $t$  – время,  $m_{ВВ}$ ,  $m_{ПП}$  – масса заряда ВВ и пластины-поршня,  $r$ ,  $h_{конт}$  – радиус и высота контейнера (рис. 2).

Среда перед фронтом ударной волны имеет следующие параметры: давление  $p_1$ , плотность  $\rho_1 = 1$  Мг·м<sup>3</sup>, скорость движения  $u_1$ , температуру  $T_1$ . За фронтом ударной волны аналогичные параметры обозначим  $p_2$ ,  $\rho_2$ ,  $u_2$ ,  $T_2$ . При движении пластины-поршня со скоростью  $u_2$  от нее начинает распространяться фронт плоской прямой ударной волны со скоростью  $D$ . Если среда перед фронтом ударной волны покоится, т.е.  $u_1 = 0$ , уравнение для расчета разности давления имеет вид

$$p_2 - p_1 = \rho_1 \cdot D \cdot u_2 = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot u_2^2}{\rho_1 - \rho_2}, \quad (3)$$

где

$$u_2 = (0,75 \div 0,85) \cdot d \cdot \left( 1 + \frac{\theta + 1}{\eta \cdot \theta} - \frac{H_{ВВ}}{d \cdot t} \cdot \theta \right) \quad (4)$$

$$\theta = \left[ 1 + 2\eta \cdot \left( 1 - \frac{H_{ВВ}}{d \cdot t} \right) \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$\eta = \frac{16}{27} \cdot \frac{m_{ВВ}}{m_{ПП}} \quad (6)$$

$$H_{ВВ} = -r \pm \sqrt{r^2 + \frac{m_{ВВ}}{\rho_{ВВ} \cdot h_{конт} \cdot \pi}}; \quad H_{ВВ} > 0 \quad (7)$$

а  $\rho_2$  находится из выражения

$$(\rho_2 + c^*)/\rho^* = (\rho_2/\rho^*)^{\chi(S)} \quad (8)$$

где  $c^*$ ,  $\rho^*$ ,  $\rho^*$  – постоянные,  $c^* = 5400$  кг·см<sup>-2</sup>,  $\rho^* = 912000$  кг·см<sup>-2</sup>,  $\rho^* = 2,53$  г·см<sup>-3</sup>.

Величина коэффициента  $\chi(S)$  при ударном сжатии воды до давлений 30000 атм. практически не изменяется, оставаясь равной 5,55.

Масса ВВ  $m_{ВВ}$  (гексоген) находится путем решения уравнений (3-8).

Применение описанных методов связано с использованием ВВ, в связи с чем возникает необходимость привлечения к работам организаций,

имеющих соответствующие права и подготовленный персонал; работы, проводимые с использованием ВВ, имеют достаточно высокую стоимость.

Для устранения названных недостатков предложена принципиально новая конструкция устройства для предпосевной обработки семян ИД, создаваемым путем подрыва газообразной смеси (рис. 3), образующейся в результате электролиза воды на кольцевом электроде. Применение данного устройства уменьшает стоимость обработки за счет отсутствия необходимости использования ВВ [8]. Применение данного устройства позволяет упростить процесс и обеспечить его безопасности за счет образования газообразной смеси водорода и кислорода непосредственно в этом контейнере.

Присутствие воды в контейнере преследует две цели: превращение энергии взрыва преимущественно в энергию сжатия и проведение электролиза с получением стехиометрической смеси водорода и кислорода, обладающей наибольшей эффективностью при взрыве. В результате увеличивается эффективность использования энергии взрыва.

Поскольку по мере распространения ударной волны давление на фронте уменьшается [14], семена расположены в кассете на определенном расстоянии от поверхности раздела фаз вода – газообразная смесь водорода и кислорода, что необходимо для равномерного воздействия давления определенной величины на семена и обеспечивает качество обработки.

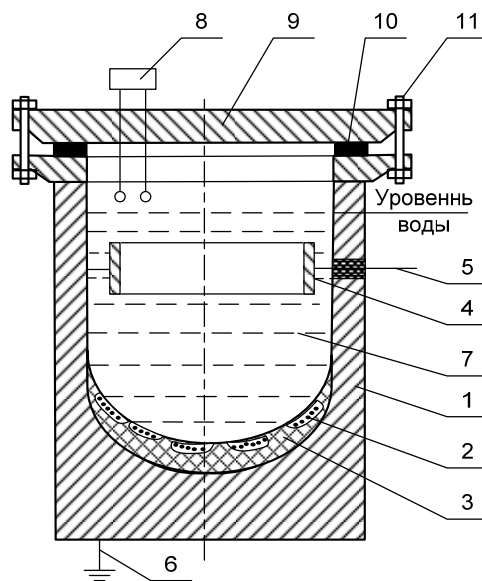
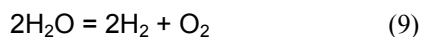


Рис. 3 – Устройство для предпосевной обработки семян с кольцевым электродом

Установка кольцевого электрода над семенами, погруженными в воду, и присоединение электрода к положительному полюсу источника постоянного тока, а также заземление контейнера, выполненного в виде металлической емкости, позволяет при подаче положительного потенциала на кольцевой электрод проводить электролиз воды с получе-

нием газов электролиза водорода и кислорода по известной формуле:



В предлагаемом устройстве в результате электролиза воды образуется гремучая смесь водорода и кислорода в пропорции 2:1, обладающая наибольшим эффектом при взрыве. Образующиеся при электролизе водород и кислород вытесняют воздух из верхней части контейнера и взрываются при иницировании фронта пламени при помощи запальной свечи. Давление на фронте ударной волны, действующей на семена, регулируется толщиной слоя воды над семенами и объемом полученных водорода и кислорода.

Электролиз воды идет в кольцевом зазоре между кольцевым электродом и заземленным контейнером, выполненным в виде металлической емкости, поэтому для равномерного, по всему кольцевому зазору, электролиза воды, и уменьшению расхода энергии на электролиз толщина кольцевого зазора должна быть одинаковой, а, значит, кольцевой электрод должен быть установлен осесимметрично с контейнером. Заземление контейнера, выполненного в виде металлической емкости, позволяет при подаче положительного потенциала от источника постоянного тока на кольцевой электрод создавать разность потенциалов в воде, находящейся в кольцевом зазоре между кольцевым электродом и контейнером, что вызывает электролиз воды.

Вода должна полностью закрывать боковую поверхность кольцевого электрода, чтобы на всей этой поверхности шел электролиз воды, поэтому кольцевой электрод должен быть полностью погружен в воду.

Устройство для предпосевной обработки семян (рис. 3) включает в себя контейнер 1, выполненный в виде металлической емкости, с обрабатываемыми ударной волной семенами 2, размещенными в контейнере 3, над которым осесимметрично с контейнером 1 установлен кольцевой электрод 4, присоединенный к положительному источнику постоянного тока 5, а контейнер 1 присоединен к заземлению 6, в контейнере 1 находится вода 7, при этом кольцевой электрод 4 полностью погружен в воду 7, а над поверхностью воды 7 установлена запальная свеча 8, в верхней части контейнера 1 установлена крышка 9 с прокладкой 10 и болтовыми соединениями 11.

Устройство для предпосевной обработки семян работает следующим образом. Подается положительный потенциал на кольцевой электрод 4 от источника постоянного тока 5. при электролизе воды 7 в кольцевом зазоре между контейнером 1, и боковой поверхностью кольцевого электрода 4 идет образование газов водорода и кислорода по формуле (9) с образованием их газообразной смеси над уровнем воды 7. Затем герметично с помощью прокладки 10 и болтовых соединений 11 закрывают контейнер 1 крышкой 9 и запальной свечой 8 поджигают газообразную смесь водорода и кислорода. После

обработки семян 2 ударной волной, крышку 9 снимают и семена 2 забирают из контейнера 1.

Предлагаемое устройство для предпосевной обработки семян позволяет упростить и обеспечить безопасность подготовки газообразной смеси водорода и кислорода и заполнение ею контейнера, так как эта газообразная смесь образуется непосредственно в этом объеме. Кроме того, слой воды над обрабатываемыми взрывной волной семенами предотвращает их термическую деструкцию и разрушение, смягчает тепловую нагрузку на них.

Работа устройства не зависит от источников водорода и кислорода, которые надо подводить в баллонах или специальных емкостях и хранить на складе отдельно друг от друга, а потом смешивать в необходимой пропорции для взрыва.

Предлагаемое устройство позволяет упростить процесс обработки семян, обеспечить его безопасность и повысить качество обработки семян для увеличения продуктивности растений.

Создать высокое импульсное давление – сложная техническая задача. В разработанных конструкциях за счет использования ВВ и газообразных смесей удалось создать такое давление.

## Литература

1. Андреев К.К., Беляев А.Ф. *Теория взрывчатых веществ*, М.: Оборонгиз, 1960. – 596 с.
2. Атрощенко, Э.С. *Технология взрывного прессования керамики-металлических и пьезокерамических материалов*: дис. ... докт. тех. Наук, Пенза, 1984.
3. Бацанов С.С. *Успехи химии*, **55**, 4, 579-607 (1986).
4. Белоусов Л.В., Ермаков А.С., Лучинская Н.Н. *Цитология*, **42**, 1, 84-91 (2000).
5. Медведев С.С. *Электрофизиология растений*, С.-Пб.: изд-во С.-Пб.ун-та, 1998. – 184 с.
6. Нефедьева Е.Э., Лысак В.И. *Давление как фактор регуляции у растений: монография*, Волгоград: ВолгГТУ, 2009. - 187 с.
7. Ольшанская Л.Н., Халиева А.С., Кузнецова А.А., Титоренко О.В., Шайхiev И.Г. *Вестник Казанского технологического университета*, **13**, 154-158 (2013).
8. Полезная модель 91504 РФ (2010).
9. Пат. 2083073 РФ (1997).
10. Патент 2377753 РФ (2010).
11. Пихтовников Р.В., Завьялова В.И. *Штамповка листового материала взрывом*, М.: Машиностроение, 1964. – 176 с.
12. Тарасова Е.Ю., Коростелева В.П., Пономарев В.Я. *Применение нанотехнологий в сельском хозяйстве*, **21**, 121-123 (2012).
13. Тыртыгин В.Н., Собгайда Н.А., Потеха В.Л., Шайхiev И.Г., Макарова Ю.А. *Вестник Казанского технологического университета*, **3**, 176-178 (2013).
14. / Ф. А. Баум [и др.]; под ред. К. П. Станюковича. *Физика взрыва*, М.: Наука, 1975. – 704 с.
15. Albrechtová J. T. P., Dueggelin M., Duerrenberger M., Wagner E. *New Phytologist*, **163**, 2, 263-269 (2004).
16. Dike L.E., Chen C.S., Mrksich M., Tien J., Whitesides G. M., Ingber D. E. *In Vitro Cell Dev Biol Anim.*, **35**, 8, 441 (1999).
17. Dumais J., Steele C. S. *Journal of Plant Growth Regulation*, **19**, 7-18 (2000).
18. Kwiatkowska D. *American Journal of Botany*, **91**, 1277-1293 (2004).
19. Lysak V.I., Kusmin S.V. *Explosive welding of metal*

*layered composite materials*, Kiev: The Paton welding electric institute, 2003. – 118 с.

20. Buchanan B.B., Grisse W., Jones R.L. *In Biochemistry and Molecular Biology of Plants*, Amer. Society of Plant Physiologists, **18**, 930-936 (2000).

21. Yahraus T., Chandra S., Legendre L., Low P. S., *Plant Physiol.*, **109**, 1259–1266 (1995).

---

© **В. В. Фомиченко** - асп. каф. процессов и аппаратов химического производства Волгоградского госуд. технич. ун-та;  
**А. Б. Голованчиков** – д.т.н., проф., зав. каф. процессов и аппаратов химического производства того же вуза, rahp@vstu.ru;  
**В. И. Лысак** – д.т.н., проф., зав. каф. технологии и оборудования сварочного производства, проректор по НИР того же вуза;  
**Е. Э. Нефедьева** – д.б.н., проф. каф. промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности того же вуза; **И. Г. Шайхиев** – д.т.н., зав. каф. инженерной экологии КНИТУ.