

УДК 631.432:546

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ПОДАЧИ УДОБРЕНИЙ ПРИ ПОСЕВЕ ЗЕРНОВЫХ И ГИДРОГЕЛЯ**

Тимошенко Виктор Викторович  
к.т.н., доцент  
E-mail: [viktor.timoshenk@mail.ru](mailto:viktor.timoshenk@mail.ru)  
РИНЦ SPIN-код: 4167-8286

Ульянов Максим Владимирович  
к.т.н., доцент  
E-mail: [ulyanovmv@mail.ru](mailto:ulyanovmv@mail.ru)  
РИНЦ SPIN-код: 5363-1748

Матасов Александр Николаевич  
к.т.н., доцент  
E-mail: [matasov9@mail.ru](mailto:matasov9@mail.ru)  
РИНЦ SPIN-код: 3797-0891

Харлашин Александр Владимирович  
к.т.н., доцент  
E-mail: [harlashin@list.ru](mailto:harlashin@list.ru)  
РИНЦ SPIN-код: 9687-2342  
*ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, Волгоград, Россия*

Увеличение количества и качества урожая является одной из первостепенных задач, которая стоит перед производителями сельскохозяйственной продукции. Достигается это путем использования всевозможных удобрений и химических препаратов. По результатам исследований, которые велись в данном направлении, стало очевидным, что одним из наиболее перспективных вариантов является использование влагосорбирующего мелиоранта (гидрогеля). Стоит отметить, что наш регион относится к засушливым, так как основной объем выпадающих осадков приходится на период уборки, а когда растение активно развивается, преобладают почвенные и воздушные засухи. Так нами было рассмотрено несколько вариантов внесения гидрогеля от сухих гранул до полностью насыщенных. Оптимальным оказался способ, при котором от высевающего аппарата поступают сухие гранулы, а в тукопроводе они попадают в распыленный факел жидких удобрений, впитывают их и укладываются на дно борозды. Основным преимуществом является то, что сухие гранулы проще высевать, однако они получают порцию жидких удобрений и удерживают их до того момента, пока корни культурного растения не прорастут в гранулу. За период, пока корни прорастут в набухший гидрогель, он еще успевают

UDC 631.432:546

05.20.01-Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

**THEORETICAL DETERMINATION OF THE DEPENDENCE OF THE PRESSURE IN THE FERTILIZER SUPPLY SYSTEM WHEN SOWING GRAIN AND HYDROGEL**

Timoshenko Viktor Viktorovich  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
E-mail: [viktor.timoshenk@mail.ru](mailto:viktor.timoshenk@mail.ru)  
RSCI SPIN-code: 4167-8286

Ulyanov Maxim Vladimirovich  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
E-mail: [ulyanovmv@mail.ru](mailto:ulyanovmv@mail.ru)  
RSCI SPIN-code: 5363-1748

Matasov Alexander Nikolaevich  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
E-mail: [matasov9@mail.ru](mailto:matasov9@mail.ru)  
RSCI SPIN-code: 3797-0891

Kharlashin Alexander Vladimirovich  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
E-mail: [harlashin@list.ru](mailto:harlashin@list.ru)  
RSCI SPIN-code: 9687-2342  
*Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia*

Increasing the quantity and quality of the crop is one of the primary tasks that agricultural producers face. This is achieved by using all kinds of fertilizers and chemicals. According to the results of studies conducted in this direction, it became obvious that one of the most promising options is the use of a moisture-absorbing meliorant (hydrogel). It is worth noting that our region belongs to the arid ones, since the main volume of precipitation falls during the harvesting period, and when the plant is actively developing, soil and air droughts prevail. So we have considered several options for applying hydrogel from dry granules to fully saturated ones. The optimal method turned out to be a method in which dry granules come from the seeding apparatus, and in the tube they fall into a sprayed torch of liquid fertilizers, absorb them and are placed on the bottom of the furrow. The main advantage is that it is easier to sow dry pellets, but they receive a portion of liquid fertilizers and hold them until the roots of the cultivated plant germinate into the pellet. During the period until the roots germinate into the swollen hydrogel, it still has time to collect soil moisture, and then, as necessary, give it away, which is very important during the development period. At the Department of "Technical systems in the agro-industrial complex" of Volgograd State Agrarian University, a seeder design has been developed that allows the proposed technology to be implemented,

набрать почвенную влагу, а затем, по мере необходимости, отдавать, что очень важно в период развития. На кафедре «Технические системы в АПК» Волгоградского ГАУ разработана конструкция сеялки, позволяющая осуществлять предложенную технологию, которая обеспечит появление более ранних и дружных всходов зерновых культур в зонах рискованного земледелия, к которым относится Волгоградская область. Теоретически определены зависимости давления в системе подачи удобрений. Статья выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 19-48-340012 p\_a

Ключевые слова: ПОСЕВ, ЖИДКИЕ УДОБРЕНИЯ, ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ, ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ, ГРАНУЛЫ ГИДРОГЕЛЯ

which will ensure the appearance of earlier and more friendly seedlings of grain crops in the zones of risky agriculture, which the Volgograd region belongs to. The article determines the dependences of the pressure in the fertilizer supply system theoretically. The work was carried out with the financial support of the RFBR and the Administration of the Volgograd region within the framework of the scientific project No. 19-48-340012 p\_a

Keywords: SOWING, LIQUID FERTILIZERS, LIQUID PRESSURE, THEORETICAL DEPENDENCIES, HYDROGEL GRANULES

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-171-021>

## **Введение.**

Использование химических элементов, в точности удобрений, при производстве сельскохозяйственных продуктов направлено не только на увеличение урожая за счет повышения плодородия почв, но частично компенсировать вынос полезных микроэлементов из слоев почвы. Однако чрезмерное и неправильное применение больших доз удобрений может негативно сказаться не только на количестве и качестве получаемой продукции, но и нарушить биологический круговорот микроэлементов в природе, что приведет дисбалансу питательных веществ в почве.

Известно, что минеральные удобрения, существующие на сегодняшний день, имеют значительный недостаток в плане быстрого перемещения между слоями почвы и дальнейшего их вымывания и накопления в нижних слоях.

Поэтому для удержания и накопления питательных элементов в определенном месте предлагается использовать влагоудерживающий сополимер – гидрогель.

**Актуальность.** Волгоградская область – зона рискованного земледелия вследствие дефицита влаги и неравномерности выпадения

осадков: больший их объем приходится на тот момент времени, когда в большинстве хозяйств области начинается уборочная страда, а в тот период, когда растениям необходима поддержка в виде влаги и микроэлементов осадки практически отсутствуют. [1]. Поэтому многие аграрии идут по пути увеличения количества внесенного удобрения, чтобы хоть как - то повысить урожайность.

Из литературы по агрономии известно, что для получения дружных всходов, прибавки урожая, повышения качества продукции, внесение удобрений необходимо осуществлять не только в строго установленные сроки, но и правильно располагать в почве таким образом, чтобы они были максимально доступны корням растений. Такое размещение удобрений позволяет растению получать питательные элементы на протяжении всего периода вегетации, что в дальнейшем положительно скажется на конечном продукте. Однако для выполнения данных требований необходимо четкое локальное расположение удобрений относительно корней растения.

Исходя из этого, в последнее время активно идет развитие новых технологий, создание конструкций агрегатов, рабочих органов, которые могут эффективно вносить удобрения и семена на разных уровнях [6.7].

Проанализировав выпускаемую технику, существующие конструкции и технологии мы предлагаем осуществлять посев зерновых культур с локальным расположением влагосорбирующего мелиоранта (гидрогеля), который в свою очередь насыщается жидкими удобрениями и удерживает их до того момента, пока корни растения не прорастут в гранулу [4]. Для реализации предложенного способа посева нами поставлена цель разработки конструкция сеялки, способной осуществлять его.

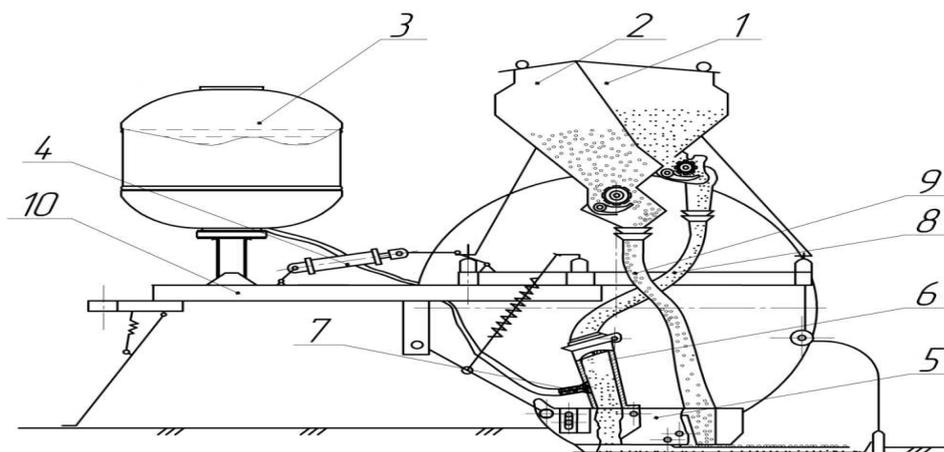
**Методы исследований.** Для определения оптимального способа использования гранул гидрогеля был проведен ряд экспериментов. По их окончании стало очевидным, что наиболее эффективным является способ

внесения гидрогеля вместе с посевом и использованием жидких удобрений. Причем последние должны опылять гранулы непосредственно вперед попаданием в почву [3].

После проведения всех опытов по определению наилучшего способа использования гидрогеля одновременно с высевом семян и внесением жидких комплексных удобрений, нами была разработана конструкция сеялки, с помощью которой возможно осуществить данный способ.

Принцип работы разработанной конструкции заключается в следующем. При работе сеялки в поле ползовидный сошник 5 образует две бороздки, которые смещены относительно друг друга в горизонтальной и продольно-вертикальной плоскостях на 1 см в каждую сторону. В бороздку для гидрогеля, образованную пятой сошника 5 поступают гранулы сополимера из бункера 1 по тукопроводу 8 поступают в сошник 5, где в тукосмесителе предварительно обрабатываются жидкими удобрениями. Туки подаются по шлангу через распылитель 7 из емкости для удобрений 3, закрепленной на раме 10. Вторая пята сошника 5 образует бороздку для семян, которые подаются из зернового бункера 2 по семяпроводу 9. Изменение положения сеялки из транспортного в рабочее происходит гидроцилиндром 4 [2].

Как видно данная конструкция позволяет совместить несколько операций. Исходя из этого, необходимо рассчитать какое количество жидких удобрений требуется при разной норме внесения мелиоранта, которая будет зависеть от условий сева.



1 – бункер для удобрений; 2 – зерновой бункер; 3 – емкость с удобрениями; 4 – гидроцилиндр; 5 – сошник; 6 – тукосмеситель; 7 – распылитель; 8 – тукопровод; 9 – семяпровод; 10 – рама  
 Рисунок 1.1 – Схема конструкции сеялки для посева зерновых и совместного внесения мелиоранта и с жидких удобрений

**Результаты исследований.** Одним из основных показателей предложенного технологического процесса будет рабочее давление в емкости для удобрений в зависимости от использования различных насадок.

Используя некоторые аналитические выражения определим скорость потока жидкости при выходе из сопла.

При использовании сопла гидравлического действия скорость потока исходящей жидкости определится следующим выражением:

$$v_{\text{жид}} = \sqrt{\frac{2g\Delta P^2}{\gamma_{\text{жид}}}}, \quad (1)$$

где:  $\Delta P$  – перепад давления перед отверстием сопла и за ним, Па;  
 $\gamma_{\text{жид}}$  – удельный вес жидкости, н/м<sup>3</sup>.

Диаметр отверстия сопла при использовании форсунки с винтовым вкладышем будет оопределятся по формуле:

$$d_c = \sqrt{\frac{4Q_{\text{жид}}}{\pi\mu\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_{\text{жид}}}}}}, \quad (2)$$

где:  $Q_{\text{жид}}$  - расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;  $\mu$  - коэффициент расхода:

$$\mu = \varphi \varepsilon,$$

где  $\varepsilon$  – изменяемый коэффициент, в зависимости от динамических свойств жидкости;  $\varphi$  - конструкторских особенностей отверстия распылителя ( $\varepsilon \approx 0,97$ ), ( $\varphi \approx 0,87 \dots 0,73$ );  $\rho_{\text{жид}}$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>.

Как видно из выражений (1) и (2) общим у них будет перепад давлений, исходя из этого можно будет выразить их из каждого уравнения и урвнять. Это позволит определить скорость потока жидкости в зависимости от диаметра выходного отверстия сопла.

$$d_c^2 = \frac{4Q_{\text{жид}}}{\pi\mu\sqrt{2\Delta P/\rho_{\text{жид}}}}; \tag{3}$$

Использував данное выражение и подставив различные возможные диаметры (от 0,4 до 1,4 мм) выходного отверстия сопла получили прямые зависимости скорости истечения жидкости от расхода (Рисунок 2).

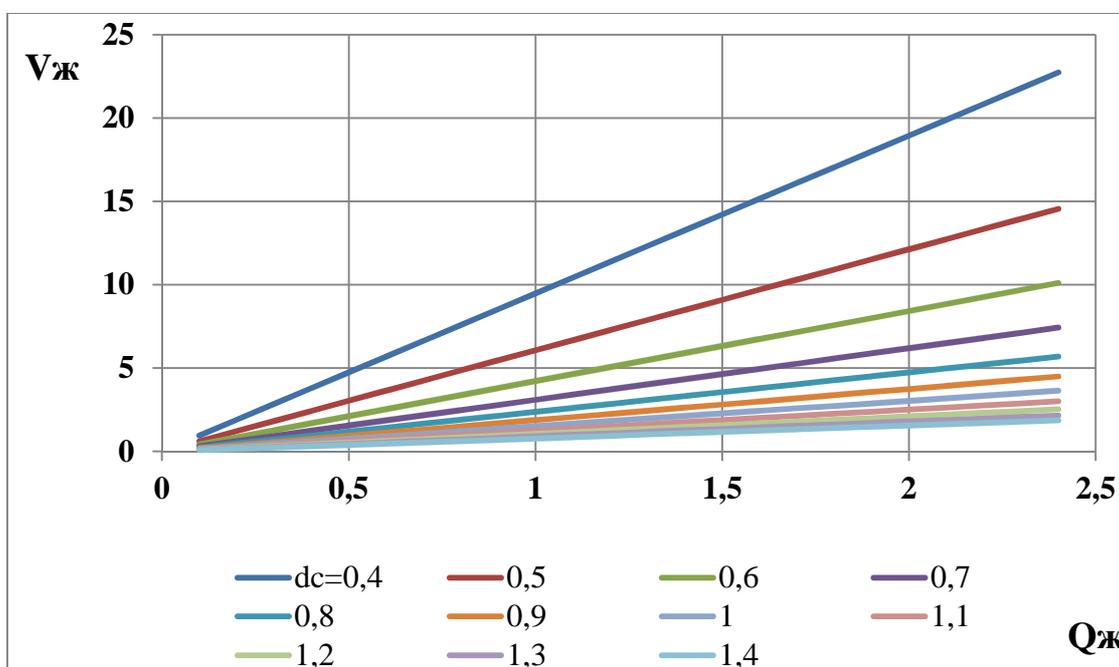


Рисунок 2 –Зависимость скоростей жидкости от диаметра выходного отверстия сопла и расхода удобрений

$$V_{\text{ж}}^2 = \frac{2g\Delta\mathcal{P}}{\gamma_{\text{жид}}}; \quad (4)$$

$$d_{\text{с}}^4 = \frac{8Q_{\text{жид}}^2 \rho_{\text{жид}}}{\pi^2 \mu^2 \Delta\mathcal{P}}; \quad (5)$$

выразив разность давлений  $\Delta\mathcal{P}$  из выражения (4) получим:

$$\Delta\mathcal{P} = \frac{V_{\text{жид}}^2 \gamma_{\text{жид}}}{2g}; \quad (6)$$

а  $\Delta\mathcal{P}$  из выражения (5):

$$\Delta\mathcal{P} = \frac{8Q_{\text{жид}}^2 \rho_{\text{жид}}}{d_{\text{с}}^4 \pi^2 \mu^2}; \quad (7)$$

Далее приравняв правые части выражений (6) и (7) соответственно получим следующее равенство:

$$\frac{V_{\text{жид}}^2 \gamma_{\text{жид}}}{2g} = \frac{8Q_{\text{жид}}^2 \rho_{\text{жид}}}{d_{\text{с}}^4 \pi^2 \mu^2}; \quad (8)$$

Выразив из равенства (8) скорость истечения жидкости из отверстия сопла  $V_{\text{жид}}$  получим следующее выражение:

$$V_{\text{жид}} = \sqrt{\frac{16Q_{\text{жид}}^2 g \rho_{\text{жид}}}{d_{\text{с}}^4 \pi^2 \mu^2 \gamma_{\text{жид}}}}. \quad (9)$$

Как видно в полученном выражении (9) присутствуют две неизвестные величины. Для того чтобы их определить, мы при помощи компьютерной программы рассчитали зависимость скорости жидкости при истечении из сопла в зависимости от его диаметра и расхода в числовом виде. Используя эти данные в дальнейшем можно будет строить зависимости в графическом виде и пользоваться при нахождении конкретных значений.

Если полученные значения  $V_{\text{жид}}$  использовать в формуле (6), то можно определить разность давлений, которое будет при выходе жидкости из отверстия сопла.

При этом выражение примет вид:

$$\Delta P = \frac{16Q_{\text{жид}}^2 \gamma_{\text{жид}}}{d_c^4 \pi^2 \mu^2 2g}. \quad (10)$$

Для того чтобы узнать скорость движения жидкости в системе подачи удобрений нужно использовать уравнение Бернулли. Однако оно верно только при условии неразрывности струи [5].

Учитывая что струя жидкости выходя из сопла проходит малое расстояние (максимум равное диаметру тукопровода), то учитывая это можно принять условие неразрывности струи, так как поток не успеет разделиться на отдельные капли.

Представим уравнение Бернулли:

$$H + \frac{P}{\gamma} + \frac{V_0^2}{2g} = \frac{P_{\text{атм}}}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + h_m, \quad (11)$$

где:  $H$  - напор потока, создаваемый при выходе жидкости из отверстия сопла, мм р.ст.;  $P$  - давление потока жидкости при выходе из отверстия сопла, Па;  $\gamma$  - удельный вес жидкости, Н/м<sup>3</sup>;  $V_0$  - скорость жидкости в системе, м/с;  $P_{\text{атм}}$  - атмосферное давление, Н/м<sup>3</sup> (при открытых системах). При закрытой системе это значение равно начальному давлению,  $P_n$ ;  $V_{\text{жид}}$  - скорость потока жидкости на выходе из системы, м/с;  $h_m$  - потери напора в выходном отверстии,  $h_m = \varepsilon V^2 / 2g$ , где:  $\varepsilon$  – некоторый опытный коэффициент сопротивления отверстия.

Для упрощения расчетов и более быстрого определения конкретных числовых значений при использовании насадок с различным диаметром при определении расхода жидкости и определения разности давлений нами был составлен алгоритм, описывающий путь нахождения этих значений, который представлен в виде блок-схемы (Рисунок 3).

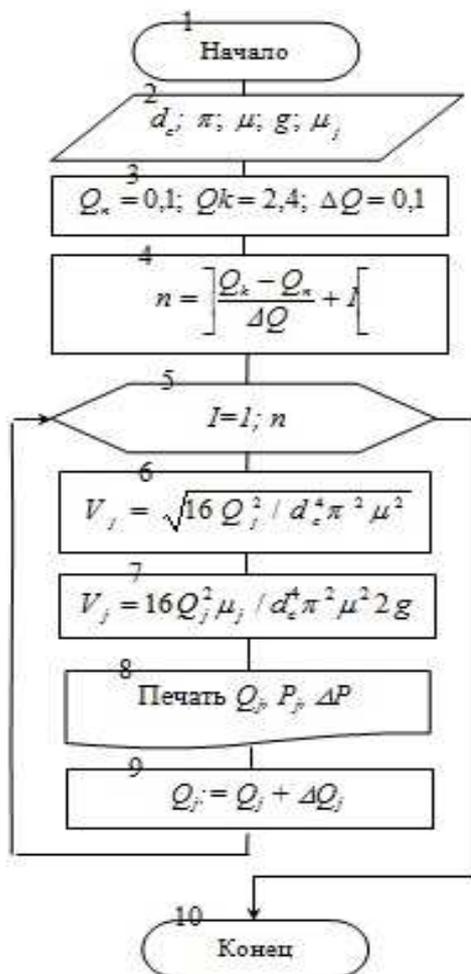


Рисунок 3 – Блок-схема по определению расхода жидкости и разности давлений

После всех преобразований при определении скорости жидкости при истечении из сопла формула Бернулли примет вид:

$$V_{\text{жид}} = \varphi \sqrt{2g \left( H + \frac{P_0 - P_H}{\gamma} + \frac{V_0^2}{2g} \right)}. \quad (12)$$

Для определения  $V_0$  из выражения (12) необходимо обе части равенства возвести в квадрат:

$$V_{\text{жид}}^2 = \varphi^2 \left[ 2g \left( H + \frac{P_0 - P_H}{\gamma} + \frac{V_0^2}{2g} \right) \right]; \quad (13)$$

$$V_0^2 = \left( V_{\text{жид}}^2 - \frac{P_0 - P_H}{\gamma} - H \right) \frac{2g\varphi^2}{2g}; \quad (14)$$

$$V_0^2 = \frac{V_{\text{жид}}^2 - \left( H + \frac{P_0 - P_H}{\gamma} \right) 2g}{\varphi^2}. \quad (15)$$

Напор  $H$ , который возникает при определенной скорости жидкости при истечении из отверстия определим из выражения:

$$H = \frac{V^2}{2g} (1 + \varepsilon), \quad (16)$$

где:  $\varepsilon$  - коэффициент сопротивления отверстия.

Из выражения (13) получим:

$$2g\varphi^2 \frac{P_0 - P_H}{\gamma} = V_{\text{жид}}^2 - \varphi^2 2gH - \varphi^2 \frac{V_0^2}{2g}; \quad (17)$$

$$P_0 - P_H = \frac{[V_{\text{ж}}^2 - \varphi^2 2gH - \varphi^2 \frac{V_0^2}{2g}] \varphi}{2g\varphi^2}; \quad (18)$$

$$P_0 - P_H = \Delta P. \quad (19)$$

Пусть  $\frac{1}{2g\varphi^2}$  равен некоторому коэффициенту  $A$ , тогда

$$A\varphi^3 = B \quad (20)$$

$$A\varphi^3 / 2g = C \quad (21)$$

$$\Delta P = A\varphi V_{\text{ж}}^2 - B 2gH - C V_0^2 \quad (22)$$

**Заключение.** Как видно из выражения (22) на разность давления будет оказывать влияние только скорость жидкости и напор, который представляется возможным контролировать, зная диаметр и давление, создаваемое в емкости для жидких удобрений. Причем давление будет постоянным, так как на емкости установлен предохранительный клапан, который возможно настраивать на нужное значение, при котором он будет срабатывать.

Таким образом, применение изложенных расчетов позволит исключить громоздкие и продолжительные расчеты при выборе необходимого вида насадки и даст возможность механизатору в короткие

сроки настроить сеялку на заданные параметры непосредственно при работе в полевых условиях.

### Список литературы

1. Тибирьков, А.П. Влияние полимерного гидрогеля и условий минерального питания на урожай и качество зерна озимой пшеницы на светло-каштановых почвах [Текст] /А.П. Тибирьков, В.И. Филин// Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – №3 (31). – С. 66-70
2. Тимошенко В.В.. Комбинированный сошник [Текст] /В.В. Тимошенко, А.В. Харлашин, М.В. Ульянов, А.Н. Матасов // Патент РФ № 2019143813, С1, МПК А01С 7/00, 31.05.2021.
3. Цепляев, А.Н. Анализ существующих технологий внесения сополимеров и перспективы их использования [Текст] / А.Н. Цепляев и др.// Научные основы стратегии развития АПК и сельских территорий в условиях ВТО: материалы Международной научно- практической конференции. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2014. – Т. 3. – 488 с
4. Цепляев А.Н. Сохранение плодородия почвы при использовании различных способов механизированного внесения туконасыщенного гидрогеля [Текст] / А.Н. Цепляев, В.В. Тимошенко // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование.-2016.-№1-С.195-201.
5. Шабуро И.С. Гидравлика потока в трубопроводе, учебное пособие / И. С. Шабуро / Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Самарский гос. технический ун-т". Самара, 2007.
6. R.O., Baidakova M.V., Uspenskii A.B., Slobodov A.A., Uspenskaya M.V. Phosphorus-containing hydrogel for use in agriculture. 16th international multidisciplinary scientific geoconferences sgen 2016 / conference proceedings. 2016.
7. Ghobashy M.M. Hydrogels based on natural polymers,2019. The application of natural polymer-based hydrogels for agriculture. Radiation Research of Polymer chemistry department, National Center for Radiation Research and Technology (NCRRT), Atomic Energy Authority, Cairo.

### References

1. Tibir`kov, A.P. Vliyanie polimernogo gidrogelya i uslovij mineral`nogo pitaniya na urozhaj i kachestvo zerna ozimoy pshenicy na svetlo-kashtanovy`x pochvax [Tekst] /A.P. Tibir`kov, V.I. Filin// Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vy`sshee professional`noe obrazovanie. – 2012. – №3 (31). – S. 66-70
2. Timoshenko V.V.. Kombinirovanny`j soshnik [Tekst] /V.V. Timoshenko, A.V. Harlashin, M.V. Ul`yanov, A.N. Matasov // Patent RF № 2019143813, S1, MPK A01S 7/00, 31.05.2021.
3. Ceplyaev, A.N. Analiz sushhestvuyushhix texnologij vneseniya sopolimerov i perspektivy` ix ispol`zovaniya [Tekst] / A.N. Ceplyaev i dr.// Nauchny`e osnovy` strategii razvitiya APK i sel`skix territorij v usloviyax VTO: materialy` Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Volgograd: Volgogradskij GAU, 2014. – T. 3. – 488 s
4. Ceplyaev A.N. Soxranenie plodorodiya pochvy` pri ispol`zovanii razlichny`x sposobov mexanizirovannogo vneseniya tukonasy`shhennogo gidrogelya [Tekst] / A.N.

Сепляев, V.V. Timoshenko // Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vy`sshee professional`noe obrazovanie.-2016.-№1-S.195-201.

5. Shaburo I.S. Gidravlika potoka v truboprovode, uchebnoe posobie / I. S. Shaburo / Federal`noe agentstvo po obrazovaniyu, Gos. obrazovatel`noe uchrezhdenie vy`ssh. prof. obrazovaniya "Samarskij gos. texnicheskij un-t". Samara, 2007.

6. R.O., Baidakova M.V., Uspenskii A.B., Slobodov A.A., Uspenskaya M.V. Phosphorus-containing hydrogel for use in agriculture. 16th international multidisciplinary scientific geoconferences sgem 2016 / conference proceedings. 2016.

7. Ghobashy M.M. Hydrogels based on natural polymers,2019. The application of natural polymer-based hydrogels for agriculture. Radiation Research of Polymer chemistry department, National Center for Radiation Research and Technology (NCRRT), Atomic Energy Authority, Cairo.