

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 635.21:631

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-2-13-20>**Аналитическое нахождение параметров пневмосистемы для внесения обогащенного гидрогеля при посадке картофеля на орошении****А.Н. Цепляев¹, Р.А. Непокрытый²**¹ Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»; г. Волгоград, Россия² Волгоградский государственный аграрный университет; г. Волгоград, Россия¹ can_volgau@mail.ru² nepokrytiyroman@yandex.ru

Аннотация. Разработка методики теоретического определения параметров пневмосистемы для равномерного распределения обогащенного удобрениями гидрогеля при посадке картофеля на орошении позволит сократить количество поливов. С целью определения параметров пневмосистемы рассматривали пневмосистему картофелесажалки, позволяющую равномерно распределить гранулы гидрогеля и удобрений в почве. В основе теоретических исследований нахождения параметров пневмосистемы принято уравнение Бернулли о неразрывности потока жидкости или газа. На основании полученных закономерностей определены значения скоростей воздуха в различных сечениях пневмосистемы, найдены зависимости избыточного давления в системе, параметры инжектора, а также определен радиус насадка для смешивания гранул удобрений и гидрогеля. Для решения полученных сложных зависимостей разработали алгоритм и использовали программу Mathcad. Установлено, что пневмосистема, обеспечивающая транспортировку смеси гидросорбента и удобрений ниже посадочной борозды картофеля, должна создавать оптимальный напор от 0,22 до 0,28 Н/м³. При этом радиус насадка варьируется в пределах от $3 \cdot 10^{-3}$ м до $3,5 \cdot 10^{-3}$ м, средняя величина радиуса составляет $3,25 \cdot 10^{-3}$ м. Полученные значения позволяют оптимизировать работу картофелесажалки.

Ключевые слова: картофель, картофелесажалки, пневмосистема, гидросорбент, гранулы гидрогеля, параметры инжектора, удобрения, напор, радиус насадка

Финансирование. Материал подготовлен в соответствии с темой № FNFR-2022-0005 «Разработать с использованием новых научных знаний ресурсоэффективные технологии орошения сельскохозяйственных культур, отвечающих требованиям реализации их продуктивности и экологической устойчивости мелиорированных ландшафтов в условиях возрастающей аридизации климата».

Для цитирования: Цепляев А.Н., Непокрытый Р.А. Аналитическое нахождение параметров пневмосистемы для внесения обогащенного гидрогеля при посадке картофеля на орошении // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 2. С. 13-20. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-2-13-20>

ORIGINAL ARTICLE

Analytical determination of the parameters of the pneumatic system used to apply enriched hydrogel when planting potatoes under irrigation**A.N. Tseplyaev¹, R.A. Nepokryty²**¹ All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture – Branch of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov”; Volgograd, Russia² Volgograd State Agrarian University; Volgograd, Russia¹ can_volgau@mail.ru² nepokrytiyroman@yandex.ru

Abstract. Methodology for the theoretical determination of the parameters of the pneumatic system for the uniform distribution of fertilized hydrogel when planting potatoes under irrigation can reduce the number of watering operations. To determine the pneumatic system parameters, the authors took an example of the pneumatic system of a potato planter that can evenly distribute granules of hydrogel and fertilizers in the soil. The Bernoulli equation describing the continuity of a liquid or gas flow was taken as the theoretical basis for the determination

of the parameters of the pneumatic system. Based on the obtained relationships, the authors determined the values of air velocities in various sections of the pneumatic system, found the dependencies of overpressure in the system, as well as the parameters of the injector and the radius of the nozzle for mixing fertilizer granules and hydrogel. To solve the obtained complex dependencies, use was made of a developed algorithm and the Mathcad software. It was established that the pneumatic system introducing hydrosorbent and a fertilizer mixture below the potato-planting furrow should make optimal pressure from 0.22 to 0.28 N/m³. In this case, the nozzle radius varies between $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ and $3.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, the average value of the radius being $3.25 \cdot 10^{-3} \text{ m}$. The obtained values can optimize the potato planter operation.

Keywords: potato, potato planters, pneumatic system, hydrosorbent, hydrogel granules, fertilizers, thrust, nozzle radius

Funding: The manuscript was prepared in accordance with the theme: FNFR – 2022-0005 “Using new scientific knowledge, to develop resource-efficient irrigation technologies for agricultural crops that meet the requirements of high productivity and environmental sustainability of reclaimed landscapes in conditions of increasing climate aridization”.

For citation: Tseplyaev A.N., Nepokrytiy R.A. Analytical determination of the parameters of the pneumatic system used to apply enriched hydrogel when planting potatoes under irrigation. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(2):13-20 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-2-13-20>

Введение

Для накопления влаги в почве в богарном земледелии при возделывании сельскохозяйственных культур применяют различного типа гидросорбенты [1, 2]. Они способны при избытке влаги накапливать ее, значительно увеличиваясь в объеме, а затем передавать растениям через корневую систему. Их способность к водоотдаче в засушливый период, а также улучшение агрегатного состояния почвы широко используются в нашей стране и за рубежом [3-5]. Исследования по изучению эффективности гидрогелей проводились в Ставрополье, Краснодарском крае и других регионах, а в качестве культур рассматривались зерновые, картофель и овощные культуры [6-8].

Картофель – один из наиболее важных продуктов в рационе питания человека, в животноводстве и других отраслях. Технология его производства постоянно совершенствуется за счет сортов, машин, удобрений и т.д. [9-11]. Посадку картофеля одновременно с обогащенным гидрогелем выполняют специально разработанной картофелесажалкой, включающей в себя, помимо стандартных узлов, систему подачи гидрогеля и удобрений [12, 13], которые находятся в отдельных бункерах (рис. 1), снабженных механизмами дозирования. Норма гидрогеля при посадке картофеля может изменяться от 7,8 до 31,2 г/п.м. (100...400 кг/га). При использовании нитроаммофоски подача удобрений колеблется от 19,5 до 46,8 г/п.м. (250...600 кг/га). Содержание удобрений может в 6 раз превышать количество гидрогеля, поэтому для получения качественной и эффективно действующей на растения смеси требуется тщательное перемешивание компонентов. Кроме того, полученную смесь

необходимо равномерно распределять в почве полосой шириной до 0,25 м, соответствующей размерам корневой системы картофеля. Поэтому наиболее приемлемым в конструкции машины является применение воздушной системы подачи гидрогеля. Для этого нож под гидрогель и удобрения выполняется полым, а в нижней его части монтируется специальная лапа в виде двух лезвий с углом раствора $\gamma_{\text{л}} < 90^\circ$ [11]. В их основании закреплена пластина для образования внутренней полой камеры, в которую вмонтирован наконечник с винтовым насадком, подающим воздух под давлением. Диаметр отверстия насадка меньше диаметра трубопровода. Такая конструкция позволяет получить завихрение воздушного потока и создать эффект разряжения в зоне выхода воздуха. Данная воздушная система работает по принципу инжектора, улучшая транспортировку гидрогеля и удобрений по каналу и обеспечивая равномерность получения смеси (обогащенного гидрогеля) с последующей ее подачей в почву по ширине развития корневой системы картофеля [12].

Цель исследований: аналитическое нахождение параметров пневмосистемы для внесения обогащенного гидрогеля при посадке картофеля на орошении.

Материалы и методы

В качестве рабочей гипотезы принято предположение о создании в почве миниводохранилищ в зоне гидрогеля, обогащенного удобрениями. При этом равномерная концентрация удобрений в конгломерате гидрогеля оказывает положительное влияние на динамику всходов, последующее развитие растений и способствует формированию одинаковых по размеру клубней.

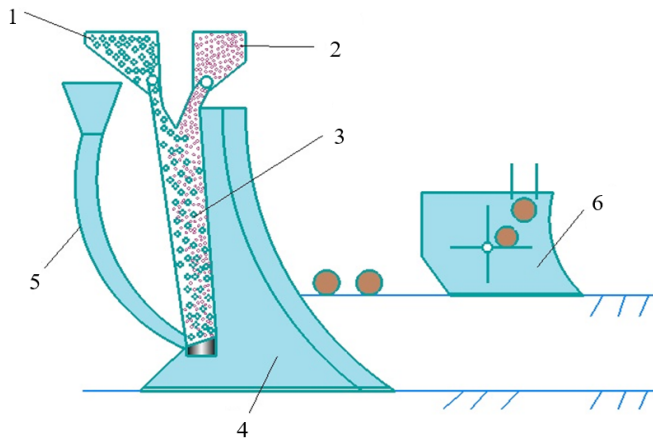


Рис. 1. Схема технологического процесса посадки клубней картофеля с обогащенным гидрогелем:

1 – бункер для удобрений; 2 – бункер для гидрогеля;
3 – канал ножа; 4 – лапа-бороздообразователь;
5 – воздуховод; 6 – сошник картофелесажалки

Fig. 1. Diagram of the technological process of planting potato tubers with enriched hydrogel:

1 – fertilizer hopper; 2 – hydrogel hopper; 3 – knife channel;
4 – furrower; 5 – air duct; 6 – potato planter opener

Схема технологического процесса посадки клубней картофеля с обогащенным гидрогелем представлена на рисунке 1. На типовую картофелесажалку установлена пневмосистема для перемешивания и подачи гидрогеля и удобрений. Транспортировка компонентов обеспечивается за счет создания вихревого потока, образуемого насадком с винтовым золотником. В основу теоретических исследований нахождения параметров пневмосистемы положено уравнение Бернулли о неразрывности потока жидкости или газа. Нахождение радиуса насадка выполнено с использованием программы MathCad.

Результаты и их обсуждение

Схема работы инжектора представлена на рисунке 2. На схеме обозначены сечения: $a-a$; $b-b$; $z-z$.

Чтобы не усложнять расчеты, примем условие, что сопротивление воздуха за счет трения о стенки воздуховодов и поверхности конструкции незначительны и в последующих выводах не учитываются. Исходя из указанных рассуждений, можно записать:

$$\frac{P_a}{\rho g} + \frac{\alpha_a \vartheta_a^2}{2g} = \frac{P_b}{\rho g} + \frac{\alpha_b \vartheta_b^2}{2g}, \quad (1)$$

где P_a и P_b – давление в сечениях $a-a$ и $b-b$; ρ – плотность воздуха (исходя из ранее принятых условий плотность воздуха остается постоянной); ϑ_a – скорость воздушного потока в сечении $a-a$; ϑ_b – скорость воздуха в сечении $b-b$; α_a и α_b – коэффициенты, учитывающие изменение кинетической энергии воздуха при его движении (для коротких воздуховодов $\alpha \approx 1,05 \dots 1,1$).

Исходя из принятых условий и с учетом уравнения (1), определим скорость воздуха в воздуховоде 5 (рис. 1):

$$\vartheta_a = \left[\frac{2g \frac{P_b}{\rho g} + \frac{\alpha_b \vartheta_b^2}{2g} - \frac{P_a}{\rho g}}{\alpha_a} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

Примем $\alpha_a \approx \alpha_b \approx 1,05$. Тогда

$$\vartheta_a = \left[\frac{2}{\rho} (P_b - P_a) + \vartheta_b^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (3)$$

В полученном уравнении (3) присутствует разность давления в сечениях $a-a$ и $b-b$. Эту разность можно представить в виде избыточного давления:

$$P_\Delta = (P_b - P_a) \gamma_a, \quad (4)$$

где γ_a – удельный вес воздуха, Н/м³.

$$P_\Delta = H_p \gamma_a, \quad (5)$$

где H_p – пьезометрическая высота, м.

Отсюда зависимость (3) можно представить как

$$\vartheta_a = \left[\frac{2}{\rho} H_p \gamma_a + \vartheta_b^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (6)$$

Диаметр пневмопровода $D_a = const$, скорость ϑ_a не будет отличаться от скорости воздуха в воздуховоде, то есть $\vartheta_a = \vartheta_n$.

Для определения скорости ϑ_b в сечение $b-b$ воспользуемся схемой подачи гидрогеля в канал полого ножа. В соответствии с конструктивными особенностями устройство для подачи гидрогеля представляет собой полый цилиндр с закрепленными на нем лопатками (рис. 3). В нижней части между кромкой лопатки

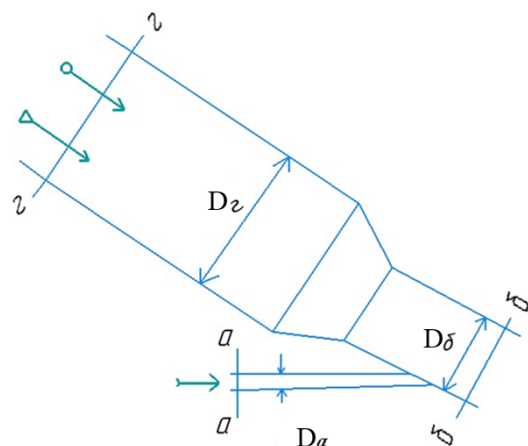


Рис. 2. Схема работы воздушно-смесительной системы:

D_a – диаметр пневмопровода;
 D_z – диаметр тупопровода; D_b – диаметр наконечника

Fig. 2. Operation diagram of the air mixing system

D_a – diameter of pneumatic conduit;
 D_z – tube diameter; D_b – tip diameter

и заслонкой зазор меньше диаметра частицы гидрогеля. Радиус окружности заслонки равен сумме радиусов цилиндра и лопатки. Кромка заслонки поднята на 10° от вертикальной оси цилиндра в нижней его части, что исключает самопроизвольное высыпание гидрогеля.

При вращении цилиндра 5 (рис. 3) лопатки перемещают гидрогель по внутренней части заслонки и сбрасывают его в полую часть ножа. Поскольку кромка заслонки поднята выше горизонтальной плоскости, частицы гидрогеля сбрасываются с нее под некоторым углом γ . Гранулы гидрогеля достаточно легковесны, и скорость их витания не превышает $1,2 \dots 1,5$ м/с. Поэтому на перемещение частиц гидрогеля в воздушном пространстве будет действовать сопротивление воздуха. Его величина учитывается коэффициентом пропорциональности κ .

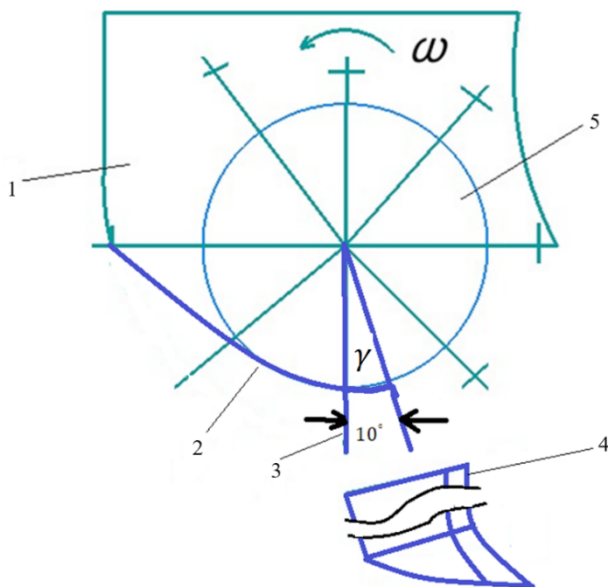


Рис. 3. Схема технологического процесса подачи гидрогеля в полый канал ножа:

1 – корпус; 2 – заслонка; 3 – лопатка; 4 – нож; 5 – цилиндр

Fig. 3. Diagram of the technological process of feeding hydrogel into the hollow channel of the knife:

1 – body; 2 – flap; 3 – blade; 4 – knife; 5 – cylinder

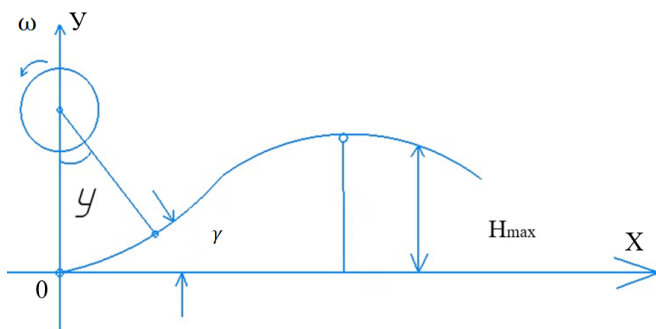


Рис. 4. Схема полета частицы гидрогеля при сбрасывании лопаткой

Fig. 4. Travel diagram of a hydrogel particle when dropped by a blade

Исходя из указанных рассуждений и схемы полета частицы гидрогеля, необходимо определить максимальную высоту подъема частицы гидрогеля $H_{\max}$ для последующего нахождения ее скорости.

В соответствии с выводами теоретической механики общее уравнения траектории движения частицы имеет вид:

$$x = \frac{\vartheta_o \cos \gamma}{\kappa g} (1 - e^{-\kappa g t}); \quad (7)$$

$$y = \frac{1}{\kappa g} \left(\vartheta_o \sin \gamma + \frac{1}{\kappa} \right) (1 - e^{-\kappa g t}) - \frac{t}{\kappa}, \quad (8)$$

где κ – коэффициент, учитывающий изменение времени на единицу пути при сопротивлении воздуха; скорость $\vartheta_o = \omega R$, где ω – угловая скорость цилиндра, c^{-1} ; R – радиус лопатки, м.

Приведем уравнение (8) к явной форме, то есть представим в виде равенства:

$$1 - e^{-\kappa g t} = x \frac{\kappa g}{\omega R \cos \gamma}. \quad (9)$$

Выразим из полученного выражения величину t :

$$-e^{-\kappa g t} = x \frac{\kappa g}{\omega R \cos \gamma} - 1; \quad (10)$$

$$t = -\frac{1}{\kappa g} \ln \left(1 - x \frac{\kappa g}{\omega R \cos \gamma} \right). \quad (11)$$

Полученные выражения (10 и 11) подставим в уравнение (8):

$$y = x \frac{\kappa \omega R \sin \gamma + 1}{\kappa \omega R \cos \gamma} + \frac{1}{\kappa^2 g} \ln \left(1 - x \frac{\kappa g}{\omega R \cos \gamma} \right). \quad (12)$$

Максимальное значение высоты подъема частицы $H_{\max}$ определим на основании дифференциального вычисления, а именно: возьмем первую производную $\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dx} \frac{dt}{dy}$, но $\frac{dx}{dt} \neq 0$, отсюда $\frac{dy}{dt} = 0$.

Первая производная уравнения (8) –

$$\frac{dy}{dt} = \dot{y} = \left(\omega R \sin \gamma + \frac{1}{\kappa} \right) e^{-\kappa g t_1} - \frac{1}{\kappa}. \quad (13)$$

Отсюда

$$e^{-\kappa g t_1} = \frac{1}{\kappa \omega R \sin \gamma + 1}; \quad (14)$$

$$t_1 = \frac{1}{\kappa g} \ln (\kappa \omega R \sin \gamma + 1).$$

Тогда

$$y_{\max} = H_{\max} = \frac{\omega R \sin \gamma}{\kappa g} - \frac{1}{\kappa^2 g} \ln (\kappa \omega R \sin \gamma + 1); \quad (15)$$

$$H_{\max} = \frac{1}{\kappa g} \left[\omega R \sin \gamma - \frac{1}{\kappa} \ln (\kappa \omega R \sin \gamma + 1) \right]. \quad (16)$$

Достигнув указанной высоты, частица гидрогеля устремляется вниз к смесительной камере со скоростью ϑ_r :

$$\vartheta_r = \vartheta_6 = \sqrt{2gH_\varepsilon},$$

где $H_\varepsilon = H_{max} + L_k$. При этом L_k – длина канала ножа. Отсюда скорость ϑ_6 –

$$\vartheta_6 = \left\{ \frac{2}{\varkappa} \left[\omega R \sin \gamma - \frac{1}{\varkappa} \ln(\varkappa \omega R \sin \gamma + 1) \right] + 2gL_k \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (17)$$

Подставим полученное выражение в уравнение (6) и найдем значение скорости в пневмопроводе ϑ_a :

$$\vartheta_a = \left\{ \frac{2}{\rho} H_p \gamma_a + \frac{2}{\varkappa} \left[\omega R \sin \gamma - \frac{1}{\varkappa} \ln(\varkappa \omega R \sin \gamma + 1) \right] + 2gL_k \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (18)$$

Рассчитаем конструкторские параметры насадка. При расчете воздушных систем чаще всего используют уравнение Эйлера, имеющего вид:

$$P_T = \frac{\gamma'}{g} (\vartheta_2 v_{t_2} - \vartheta_1 v_{t_1}), \quad (19)$$

где P_T – теоретический напор, Н/м²; γ' – объемный вес воздуха, Н/м³; ϑ_2 и ϑ_1 – скорость воздуха на входе и выходе, м/с; v_{t_2} и v_{t_1} – тангенциальные составляющие скорости на входе и выходе соответственно, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с².

Поскольку воздух направляется в систему из ресивера, уравнение 19 примет вид:

$$P_T = \frac{\gamma'}{g} (\vartheta_2^2 - \vartheta_1^2); \quad (20)$$

$$\vartheta_2 = \vartheta_k;$$

$$P_T = \frac{\gamma'}{g} (\vartheta_k^2 - \vartheta_1^2). \quad (21)$$

Теоретический напор P_T определяется по формуле:

$$P_T = \frac{T_3}{Q_B},$$

где T_3 – энергия воздуха, направляемая в насадок, Н/с; Q_B – расход поданного воздуха, м³/с.

Следовательно, $T_3 = P_T \cdot Q_B$. При этом $T_3 = R_H \cdot \vartheta$, где R_H – усилие для преодоления воздухом насадка; Н ϑ – скорость прохождения воздуха через насадок, м/с.

$$Q_B = S_H \cdot \vartheta,$$

где S_H – площадь сечения, м² ($S_H = \pi r_H^2$); ϑ – скорость, м/с.

Силу воздушного потока R_H можно определить с помощью формул гидравлики:

$$P_B = \gamma' S_1 \frac{\vartheta_H^2}{g},$$

где S_1 – площадь сечения струи воздуха, м²; ϑ_H – скорость воздуха в насадке, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с².

Учитывая формулы, полученные ранее, запишем:

$$R_H \vartheta_1 = P_T \cdot Q_B;$$

$$S_1 \frac{\vartheta_1^3}{g} \gamma' = \frac{\gamma'}{g} (\vartheta_B^2 - \vartheta_1^2) S_H \cdot \vartheta_B. \quad (22)$$

Тогда

$$S_1 = \frac{(\vartheta_B^2 - \vartheta_1^2) S_H \cdot \vartheta_{\text{внт}}}{\vartheta_1^3}. \quad (23)$$

Скорость воздуха в насадке ϑ приравняем к критической скорости ϑ_k , при которой частицы гидрогеля витают в воздушном потоке, то есть $\vartheta_1 = \vartheta_k = \vartheta_{\text{внт}}$. Тогда

$$S_1 = \frac{(\vartheta_B^2 - \vartheta_k^2) \cdot S_H}{\vartheta_k^3}. \quad (24)$$

Поскольку $(\vartheta_B^2 - \vartheta_k^2) = \vartheta_a^2$, учитывая формулу (19), в конечном виде представим значение площади насадка на выходе:

$$S_1 = \frac{\frac{2}{\rho} H_p \gamma_a + \frac{2}{\varkappa} \left[\omega R \sin \gamma - \frac{1}{\varkappa} \ln(\varkappa \omega R \sin \gamma + 1) \right] + 2gL_k}{\vartheta_k^2}.$$

Площадь сечения струи воздуха равна площади сечения воздушного канала, то есть $S_1 = S_k = \pi r_H^2$.

Тогда, подставив полученные выражения в уравнение (24), можно записать:

$$\pi r_H^2 = \frac{\frac{2}{\rho} H_p \gamma_a + \frac{2}{\varkappa} \left[\omega R \sin \gamma - \frac{1}{\varkappa} \ln(\varkappa \omega R \sin \gamma + 1) \right] + 2gL_k}{\vartheta_k^2}.$$

Поскольку $H_p \gamma_a = \Delta P$, радиус насадка будет равен:

$$r_H = \left\{ \frac{r_k^2}{\left[\frac{2}{\rho} \Delta P + \frac{2}{\varkappa} \left[\omega R \sin \gamma - \frac{1}{\varkappa} \ln(\varkappa \omega R \sin \gamma + 1) \right] + 2gL_k \right]^{\frac{1}{2}}}} \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (25)$$

Поскольку $H_p \gamma_a = \Delta P$, формула примет вид:

$$r_H = \left\{ \frac{r_k^2}{\left[\frac{2}{\rho} \Delta P + \frac{2}{\varkappa} \left[\omega R \sin \gamma - \frac{1}{\varkappa} \ln(\varkappa \omega R \sin \gamma + 1) \right] + 2gL_k \right]^{\frac{1}{2}}}} \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (26)$$

Полученная формула является довольно громоздкой, и для ее решения необходимо использовать соответствующие программы – например, Mathcad. Для этого разработана блок-схема, представленная на рисунке 5. При подстановке соответствующих числовых значений получены графики зависимости радиуса насадка от избыточного напора в пневмосистеме (рис. 6).

Поскольку значение критических скоростей гидрогеля и удобрений отличается, на графике (рис. 6) представлена некоторая зона, ограниченная их соответствующими значениями.

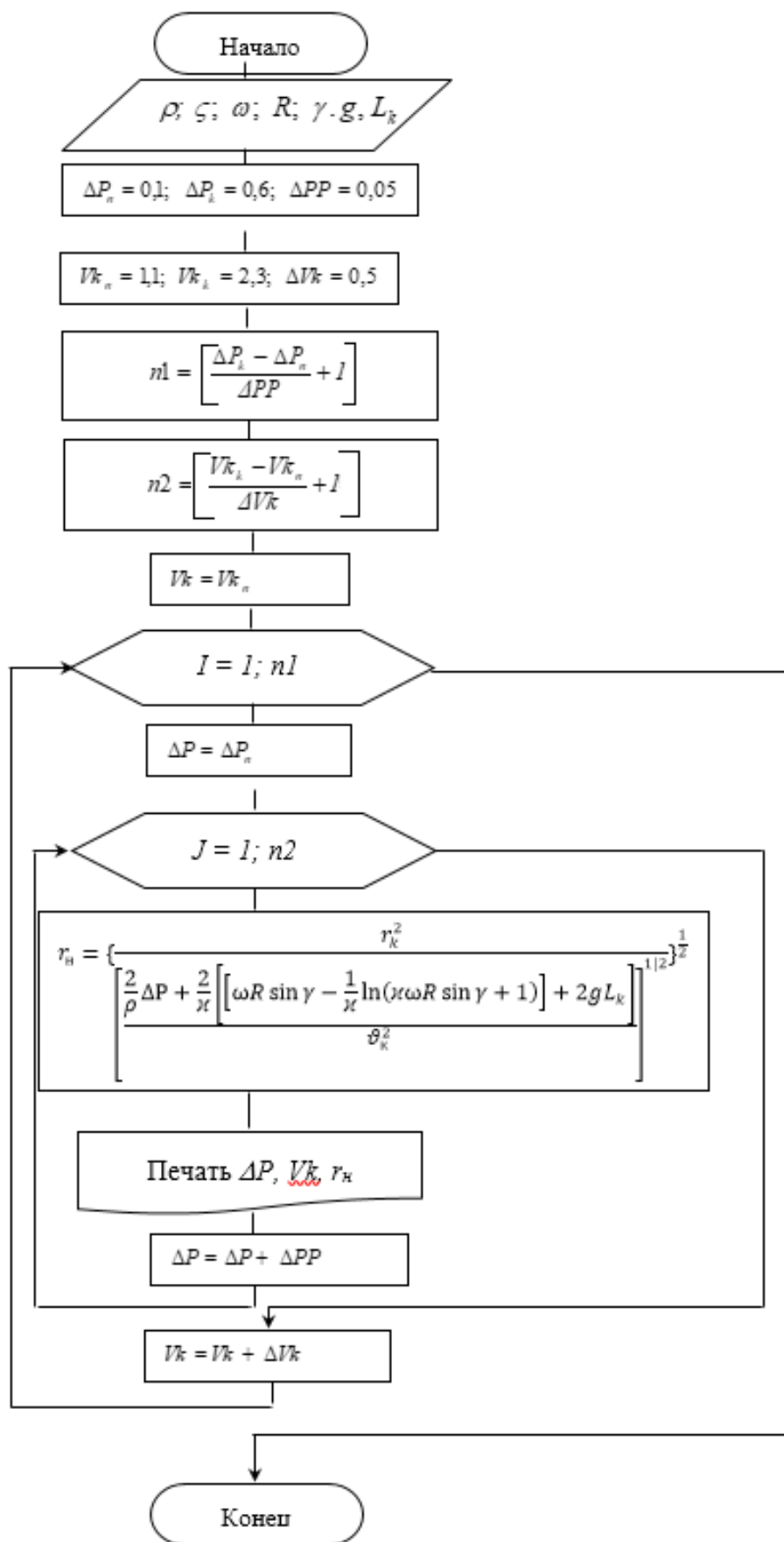


Рис. 5. Блок-схема по разработке программы для определения радиуса насадка

Fig. 5. Flowchart for the development of an algorithm for determining the nozzle radius

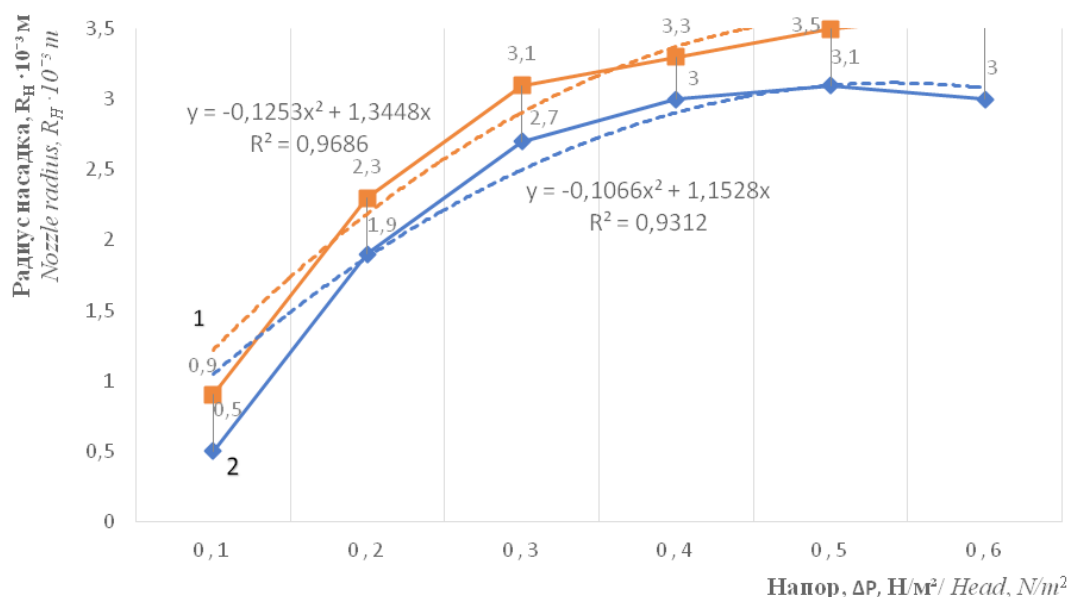


Рис. 6. Изменение радиуса насадка в зависимости от избыточного напора в пневмосистеме:

1 – скорость витания удобрений, м/с; 2 – скорость витания гидрогеля, м/с

Fig. 6. Changing the radius of the nozzle tip depending on the excess pressure in the pneumatic system:

1 – soaring rate of fertilizers, m/s; 2 – soaring rate of hydrogel, m/s

Выводы

1. Полученные аналитические зависимости позволили рассчитать параметры пневмосистемы для внесения обогащенного гидрогеля при посадке картофеля на орошении.

2. Теоретическое изменение радиуса насадка для создания избыточного напора в системе, определенное на основе уравнения Бернулли, получено с использованием программы Mathcad.

3. Оптимальным напором в пневмосистеме, обеспечивающей транспортировку смеси гидро-сорбента и удобрений ниже посадочной борозды картофеля, можно считать величину от 0,22 до 0,28 \$\text{Н/м}^3\$. При этом параметры радиуса насадка находятся в пределах от \$3 \cdot 10^{-3}\$ м до \$3,5 \cdot 10^{-3}\$ м, средняя величина радиуса составляет \$3,25 \cdot 10^{-3}\$ м.

Список источников

1. Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Манохина А.А. Возделывание картофеля с использованием влагосберегающих полимеров // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2015. № 1. С. 15-19. EDN: TYJHJQ
2. Гиченкова О.Г., Лаптина Ю.А., Дергачева И.А. Результаты агроэкологического испытания сортов картофеля отечественной селекции в условиях орошения Волгоградской области // Орошаемое земледелие. 2021. № 4. С. 41-44. <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2021-4-7>
3. Rathore S.S., Shekhawat K., Dass A., Premi O.P., Rathore B.S., Singh V.K. Deficit irrigation scheduling and superabsorbent polymer-hydrogel enhance seed yield, Water productivity and economics of indian mustard under semi-arid ecologies. *Irrigation and Drainage*. 2019;68(3):531-541. <https://doi.org/10.1002/ird.2322>
4. Ioannou A., Gohari Gh., Papaphilippou P. et al. Advanced nanomaterials in agriculture under a changing climate: The way to the future? *Environmental and Experimental Botany*. 2020;176:104048. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104048>
5. Агафонов О.М., Ревенко В.Ю. Возможности полимерного гидрогеля как накопителя почвенной влаги в зоне неустойчивого увлажнения Краснодарского края // Международный

References

1. Starovoitov V.I., Starovoitova O.A., Manokhina A.A. Potato cultivation using moisture-saving polymers. *Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin"*. 2015;1:15-19. (In Russ.)
2. Gichenkova O.G., Laptina Yu.A., Dergacheva I.A. Results of agroecological tests of potato varieties of domestic breeding in the conditions of irrigation of the Volgograd region. *Irrigated agriculture*. 2021;4:41-44. (In Russ.) <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2021-4-7>
3. Rathore S.S., Shekhawat K., Dass A. et al. Deficit irrigation scheduling and superabsorbent polymer-hydrogel enhance seed yield, Water productivity and economics of indian mustard under semi-arid ecologies. *Irrigation and Drainage*. 2019;68(3):531-541. <https://doi.org/10.1002/ird.2322>
4. Ioannou A., Gohari Gh., Papaphilippou P. et al. Advanced nanomaterials in agriculture under a changing climate: The way to the future? *Environmental and Experimental Botany*. 2020;176:104048. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104048>
5. Agafonov O.M., Revenko V.J. Possibilities of polymer hydrogel as a storage of soil moisture in the zone of unstable moistening of the Krasnodar Region. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2017;10:35-38. (In Russ.)

журнал гуманитарных и естественных наук. 2017. № 10. С. 35-38. EDN: ZTPRLR

6. Цепляев А.Н., Непокрытый Р.А. Энергоресурсосберегающие технологии посадки картофеля в орошаемом земледелии с использованием модернизированной картофелесажалки // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 472-482. EDN: IBSIVA

7. Данилова Т.Н. Влияние полимерных гелей «Ритин-10» и «В 415-К» на водообеспечение зерновых культур в условиях почвенной засухи // Агрофизика. 2018. № 1. С. 1-9. <https://doi.org/10.25695/AGRP.2018.01.01>

8. Дыйканова М.Е., Левшин А.Г., Гаспарян И.Н., Ивашова О.Н. Ресурсосберегающая технология возделывания раннего картофеля // Картофель и овощи. 2019. № 2. С. 26-28. <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.14.2.005>

9. Непокрытый Р.А., Цепляев А.Н. Теоретический анализ работы ножа для подачи гидрогеля модернизированной картофелесажалки при внесении гидрогеля на орошаемых участках // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4 (68). С. 580-587. EDN: TEBZGI

10. Калинин А.Б., Теплинский И.З., Теймуров Т.Ш. Совершенствование методов и средств снижения технологических рисков при функционировании машин для возделывания картофеля // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2021. № 1 (62). С. 178-190. <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2021-1-178-190>

11. Годунова Е.И., Шкабарда С.Н., Гундырин В.Н. Использование гидрогеля и влагообеспеченность культур в зоне неустойчивого увлажнения Ставрополья // Земледелие. 2014. № 6. С. 37-38. EDN: SLBYYV

12. Ревенко В.Ю., Агафонов О.М. Использование гидрогелей в растениеводстве // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018. № 11-2. С. 59-65. <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2018-10193>

13. Кружилин И.П., Дубенок Н.Н., Мушинский А.А. и др. Эффективность возделывания картофеля при орошении в степной зоне Урала // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 1-2. С. 23-26. EDN: TGEVRR

Сведения об авторах

¹Цепляев Алексей Николаевич, д-р с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия – филиал «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова» (ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»); 400002, Российская Федерация, Южный Федеральный округ, Волгоградская область, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9; can_volgau@mail.ru; SPIN-код: 9661-3149, AuthorID: 622919

²Непокрытый Роман Александрович, аспирант, Волгоградский государственный аграрный университет; 400002, Российская Федерация, Южный Федеральный округ, Волгоградская область, г. Волгоград, пр-т Университетский, 26; nepokrytiyroman@yandex.ru, SPIN-код: 6385-8059, AuthorID: 1257314.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 04.12.2024, после рецензирования и доработки 28.01.2025; принята к публикации 05.02.2025

6. Tseplyaev A.N., Nepokrytiy R.A. Energy-saving technologies of potato planting in irrigated agriculture using a modernized potato planter. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2023;1(69):472-482. (In Russ.)

7. Danilova T.N. Influence of “Ritin-10” and “B415-K” polymer gels on water supply of grain crops in conditions of soil drought. *Agrophysica*. 2018;1:1-9. (In Russ.) <https://doi.org/10.25695/AGRP.2018.01.01>

8. Dyikanova M.E., Levshin A.G., Gasparyan I.N., Ivashova O.N. Resource-saving technology of cultivation of early potatoes. *Potatoes and vegetables*. 2019;2:26-28. (In Russ.) <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.14.2.005>

9. Nepokrytyj R.A., Tseplyaev A.N. Theoretical analysis of the operation of a knife for feeding hydrogel to a modernized potato planter when applying hydrogel in irrigated areas. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2022;4(68):580-587. (In Russ.)

10. Kalinin A.B., Teplinsky I.Z., Teymurov T.S. Improvement of methods and means of technological risks reducing when operating machines for potato producing. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2021;1(62):178-190. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2021-1-178-190>

11. Godunova E.I., Shkabarda S.N., Gundyryin V.N. Using of hydrogel and the moisture content of cultures in the area of unstable moistening of Stavropol region. *Zemledelie*. 2014;6:37-38. (In Russ.)

12. Revenko V.Yu., Agafonov O.M. The use of hydrogels in crop production. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2018;11-2:59-65. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2018-10193>

13. Kruzhilin I.P., Dubenok N.N., Mushinsky A.A. et al. Effectiveness of potato cultivation under irrigation in the Ural steppe zone. *Russian Agricultural Sciences*. 2015;1-2:23-26. (In Russ.)

Author Information

Aleksei N. Tseplyaev¹, DSc (Ag), Lead Researcher; All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture – Branch of Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Melioration named after A.N. Kostyakov (VNIIOZ); 400002, Russia, Volgograd region, Volgograd, Timiryazeva Str., 9; e-mail: canvolgau@mail.ru

Roman A. Nepokrytiy², postgraduate student, the Department of Technical Systems in Agriculture, Volgograd State Agrarian University; 400002, Russia, Volgograd Region, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26; e-mail: nepokrytiyroman@yandex.ru

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests and are responsible for plagiarism.

Received 04.12.2024; Revised 28.01.2025; Accepted 05.02.2024