

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.34

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-5-57-61

ИССЛЕДОВАНИЯ УСЛОВИЙ РАСПЫЛА ЖИДКОСТЕЙ  
ПОСРЕДСТВОМ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА**КОЖЕВНИКОВА НАТАЛЬЯ ГЕОРГИЕВНА** , канд. техн. наук, доцентenergo-ngk@rgau-msha.ru ; <https://orcid.org/0000-0002-3664-9456>**ШЕВКУН НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**, канд. с.-х. наук, доцентenergo-shevkun@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7451-7828>**ШЕВКУН ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ**, канд. с.-х. наукvshevkun@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4241-9753>**ДРАНЫЙ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ**, канд. техн. наукenergo-dranyu@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9467-4660>

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

**Аннотация.** Мелкодисперсное дождевание, ультралёгкий водяной туман и искусственный снег в настоящее время широко применяются в различных отраслях народного хозяйства. С целью возможности более широкого использования мелкодисперсного дождевания и искусственного снега в агропромышленном комплексе и практического предложения по их применению проведен анализ конструкций технических устройств, создающих мелкодисперсное дробление жидкости и формирующих искусственный снег для нужд сельского хозяйства; определены основные технологические параметры оптимального технического решения. Исследования показали, что устройства для формирования искусственной снежной массы могут использоваться не только для производства искусственного снега, но и для осуществления мелкодисперсного дождевания или создания ультралёгкого водяного тумана, используемых в качестве укрывного материала, поддержания микроклимата в сооружениях сельскохозяйственного назначения, обработки питательными или защитными растворами сельскохозяйственных насаждений. Формирование искусственного снега или мелкодисперсного дождевания осуществляется стационарными или передвижными установками, которые обеспечивают распыл воды в виде мельчайших капель размером от 50 до 600 мкм с последующим их замерзанием. Определено, что наиболее эффективными устройствами для распыла жидкости в снегогенераторах являются распылители на основе сопла Лавалья, которые обеспечивают качественное мелкодисперсное распыливание жидкости с возможностью регулирования размеров капель, стабильную работу при различных температурных режимах. Теоретическая производительность установки при обработке посевов и посадок искусственным снегом может находиться в пределах 0,05...0,34 га/ч. Сделан вывод о необходимости дальнейших исследований динамического воздействия струи распыливаемой жидкости на растения с целью определения оптимальных режимов работы и конструктивных параметров устройства, оптимального расположения распыливающих устройств относительно обрабатываемых объектов.

**Ключевые слова:** мелкодисперсное дождевание, сопло Лавалья, снегогенератор, распылитель, защита растений от заморозков, микроклимат

**Формат цитирования:** Кожевникова Н.Г., Шевкун Н.А., Шевкун В.А., Драный А.В. Исследования условий распыла жидкостей посредством воздушного потока // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 5. С. 57-61. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-5-57-61>.

© Кожевникова Н.Г., Шевкун Н.А., Шевкун В.А., Драный А.В., 2022



## ORIGINAL PAPER

## STUDIES OF THE CONDITIONS OF SPRAYING LIQUIDS VIA AIR FLOW

**NATALIA G. KOZHEVNIKOVA** , PhD (Eng), Associate Professorenergo-ngk@rgau-msha.ru ; <https://orcid.org/0000-0002-3664-9456>**NIKOLAY A. SHEVKUN**, PhD (Ag), Associate Professorenergo-shevkun@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7451-7828>**VLADIMIR A. SHEVKUN**, PhD (Ag)vshevkun@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4241-9753>**ALEKSANDR V. DRANIY**, PhD (Eng)energo-dranyu@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9467-4660>

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

**Abstract.** Fine-dispersed sprinkling, ultra-light water fog, and artificial snow are currently widely used in various sectors of the national economy. With a view to the possibility of a wider use of fine sprinkling and artificial snow in the agro-industrial sector and a practical proposal

for their use, the authors analyzed the designs of technical devices capable of finely dispersing liquids and forming artificial snow for agricultural needs. The study determined the main technological parameters of the optimal technical solution. Studies have shown that artificial snow generators can be used not only for the production of artificial snow, but also for the implementation of fine sprinkling or the creation of ultra-light water mist, used as a covering material, maintaining the microclimate in agricultural buildings, treating agricultural plants with nutrients or protective solutions. The formation of artificial snow or fine sprinkling is carried out by stationary or mobile installations that provide water spray in the form of tiny droplets ranging in size from 50 to 600 microns, which tend to freeze later on. It has been determined that the most effective devices for spraying liquid in snow generators are sprayers based on the Laval nozzle, which provide high-quality fine spraying of the liquid with the ability to control the droplet size and ensure stable operation under various temperature conditions. The theoretical productivity of the plant during the treatment of crops and plantings with artificial snow can range between 0.05 and 0.34 ha/h. The conclusion is made about the need for further studies of the dynamic impact of the sprayed liquid jet on plants to determine the optimal operating modes and design parameters of the device, and the optimal location of the spraying devices relative to the treated objects.

**Keywords:** fine sprinkling, Laval nozzle, snow generator, sprayer, plant frost protection, microclimate

**For citation:** Kozhevnikova N.G., Shevkun N.A., Shevkun V.A., Draniy A.V. Studies of the conditions of spraying liquids via air flow. Agricultural Engineering (Moscow), 2022; 24(5): 57-61. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-5-57-61>.

**Введение.** Искусственное дробление потока жидкости для дождевания, создание искусственного снега, тумана с каждым годом приобретают все большее применение. Разрабатываются новые конструкции и технологии, позволяющие расширить спектр их использования [1, 2].

Мелкодисперсное дождевание, ультралёгкий водяной туман и искусственный снег получили широкое применение в различных сферах деятельности (рис. 1). В сельском хозяйстве искусственное дробление потока жидкости используется для хранения плодов и овощей, охлаждения пищевых продуктов; поддержания требуемых параметров микроклимата в животноводческих помещениях и иных помещениях [3]; в помещениях для хранения сыпучих материалов; для защиты посевов и посадок от воздействия низких температур [4]; орошения и увлажнения сельскохозяйственных угодий; аэрации газонов и полей; распыления удобрений и ядохимикатов. Изучение возможности более широкого применения мелкодисперсных жидкостей, искусственного снега и технических устройств для их формирования является актуальным и сегодня.

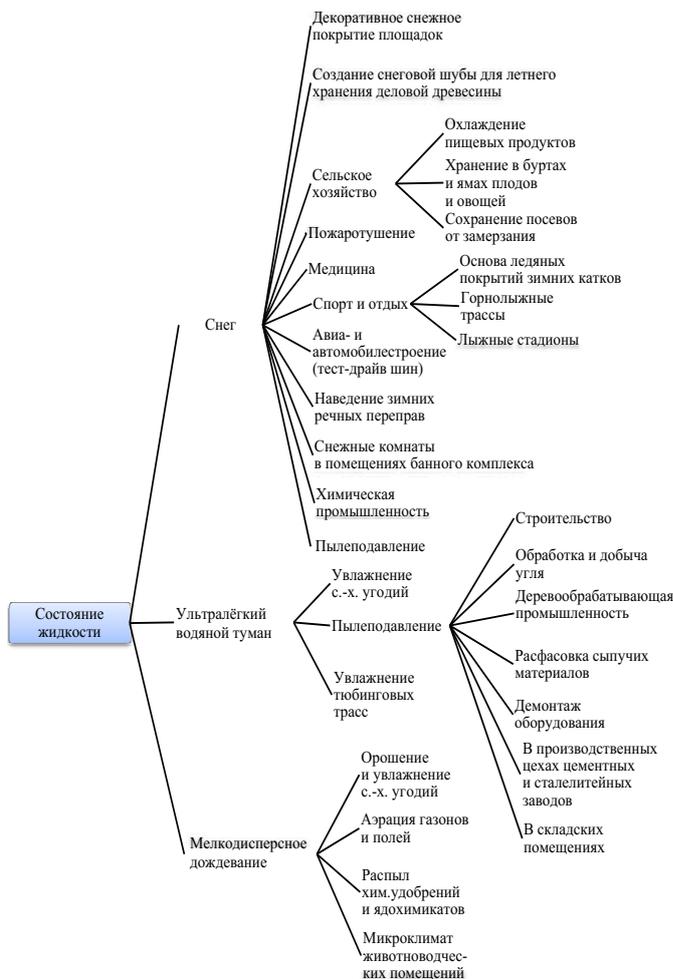
**Цель исследований:** анализ конструкций технических устройств, создающих мелкодисперсное дробление жидкости и формирующих искусственный снег для нужд сельского хозяйства; выявление наиболее оптимального технического решения и определение его основных технологических параметров.

**Материалы и методы.** Поставленная цель достигается путем проведения анализа применимости жидкости в мелкодисперсном состоянии и снега в сельскохозяйственном производстве; рассмотрения процессов мелкодисперсного дробления жидкости и генерации искусственного снега, факторов, влияющих на их протекание; анализа конструктивных решений для их формирования, выявления достоинств и недостатков, а также возможных областей применения.

В ряде случаев использование искусственного снега является невозможным ввиду технологических условий работы (когда, например, температура окружающей среды составляет свыше 0°C). Тогда для поддержания требуемых условий микроклимата, увеличения сохранности овощей или защиты посевов и посадок от кратковременного воздействия низких температур возможно использование мелкодисперсного дождевания или ультралёгкого водяного тумана.

Создание искусственного снега осуществляется с помощью снегогенерирующих установок, которые обеспечивают распыл воды в виде мельчайших капель размером от 50 до 600 мкм с последующим их замерзанием. Формирование снежинок может протекать при гомогенной или гетерогенной

нуклеации. Гомогенная нуклеация предполагает образование капелек воды без посторонних примесей вследствие конденсации воды в перенасыщенном паре. Гетерогенная нуклеация – образование капелек воды в среде перенасыщенного пара, имеющего инородные частицы (пыль или иные вещества), которые могут быть заряженными или нейтральными.



**Рис. 1. Области (сферы) применения искусственного снега, ультралёгкого водяного тумана, мелкодисперсного дождевания**  
**Fig. 1. Areas (spheres) of the application of artificial snow, ultra-light water fog, fine sprinkling**

Основными элементами конструкции снегогенерирующих устройств являются системы подачи воды и подачи воздуха

и распыливающие устройства, обеспечивающие формирование капель воды требуемого размера с последующим формированием снежной массы при требуемых температурных режимах [5]. В противном случае данные установки будут формировать лишь мелкодисперсный водяной туман, который может использоваться для пылеподавления, мелкодисперсного дождевания при орошении, увлажнения сельскохозяйственных угодий, аэрации газонов и полей, распыла химических удобрений и ядохимикатов, создания микроклимата в животноводческих помещениях.

**Результаты и их обсуждение.** Изменение климата, выражающееся бесснежными морозными зимами, внезапными весенними заморозками, вызывает необходимость более широкого применения искусственного снега и мелкодисперсного дождевания в агропромышленном комплексе. Использование искусственного снега в качестве укрывного материала посадок при защите от заморозков или в случае отсутствия снежного покрова в осенне-зимний период является перспективным направлением.

Процесс дробления струи при распыливании жидкости сложен и зависит от внешних и внутренних условий, а также от физических свойств самой жидкости и окружающей среды. Силы, вызывающие этот процесс (аэродинамические, инерционные, капиллярные, турбулентные пульсации, вибрация, кавитация и т.д.), на определенных стадиях дробления оказывают разное влияние на процесс распада струи<sup>1</sup>. Помимо этого, механизм дробления струи жидкости, выходящей из распыливающего устройства, зависит от способа распыла, класса и конструктивных особенностей самих распыливающих устройств, формы вытекающей струи и соотношения скоростей струй жидкости и газа.

Ключевыми элементами установок для мелкодисперсного дробления жидкости и генерации искусственного снега являются распылители. По принципу действия их можно подразделить на механические и пневмогидравлические распылители (рис. 2).



**Рис. 2. Классификация распыливающих устройств снегогенерирующих установок**

**Fig. 2. Classification of spraying devices used in snow generating installations**

<sup>1</sup> Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкости. М.: Химия, 1984. С. 256.

Механические распылители и форсунки осуществляют распыл воды с последующим её смешиванием с воздушным потоком от системы подачи воздуха снегогенератора, охлаждением образованных капелек, которое приводит к формированию искусственных снежинок. Пневмогидравлические форсунки обеспечивают дробление капелек воды потоком сжатого воздуха с последующей подачей водно-воздушной смеси в воздушный поток низкого давления и образованием снежинок.

Анализ конструкций и принципов действия распыливающих устройств показывает, что они, как правило, формируют искусственные снежинки при гетерогенной нуклеации, так как распыл жидкости производится в окружающую среду, содержащую частицы пыли. Факторами, влияющими на формирование искусственного снега или получение ультралёгкого водяного тумана, являются температурно-влажностный режим работы установки и турбулизация потока рабочей среды, обеспечивающая интенсивное её перемешивание и дробление капель.

Для повышения степени турбулизации рабочей среды в конструкциях распылителей ряд авторов предлагает определенные решения: применение вихревых трубок и тангенциальный подвод воздуха; использование завихряющих вкладышей или изготовление распылителей в виде полого ротора со шнеком [6].

Более тонкое дробление рабочей среды в распылителях приводит к более интенсивному снегообразованию и получению качественного снежного покрова [7]. Дробление обеспечивается несколькими способами: вакуумированием рабочей среды с последующей её ионизацией; струйными насосами, формирующими водно-воздушную смесь с различным процентным соотношением воды и воздуха; двухступенчатым распылением воды; использованием вихревых трубок с ионизацией подаваемого воздуха

Отдельного внимания заслуживают пневмогидравлические форсунки, работающие на основе сопла Лавалья, которые за счет особой конструкции осуществляют дробление капель подаваемой воды с последующим охлаждением вследствие адиабатического расширения образовавшейся смеси. Повышение качественных показателей работы распылителей на основе сопла Лавалья достигается еще и путем дополнительного ввода в рабочую смесь углекислоты, способствующей интенсификации образования центров кристаллизации, ультразвуковым воздействием или обработкой подаваемой воды сверхвысокочастотной энергией (СВЧ).

Распылители на основе сопла Лавалья позволяют регулировать режимы распыла рабочей среды и обеспечивают формирование искусственного снега при температуре от +3°C и ниже, а при температуре выше +3°C формируют устойчивый мелкодисперсный туман с диаметром капли от 50 до 200 мкм [8].

Производительность установки, в конструкции которой применяются распылители на основе сопла Лавалья, по рабочей среде  $Q_{pc}$  можно определить по формуле

$$Q_{pc} = n_{\phi} S v, \quad (1)$$

где  $Q_{pc}$  – производительность установки по рабочей среде, м<sup>3</sup>/с;  $n_{\phi}$  – количество форсунок, шт.;  $S$  – площадь поперечного сечения канала, подводящего воду, м<sup>2</sup>;  $v$  – скорость рабочей среды в подводящем канале, м/с.

Скорость рабочей среды в подводящем канале  $v$  зависит от её давления и определяется на основании уравнения Бернулли:

$$v = \sqrt{2 \frac{p}{\rho_b}},$$

где  $p$  – давление рабочей среды, Па;  $\rho_b$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

Производительность установки по снегу –

$$Q_{сн} = n_{ф} S v \frac{\rho_{в}}{\rho_{с}}, \quad (2)$$

где  $Q_{сн}$  – производительность установки по снегу, м<sup>3</sup>/с;  $\rho_{с}$  – плотность снега, кг/м<sup>3</sup>.

Требуемая производительность компрессорной установки  $Q_{комп}$  для обеспечения функционирования распылителей определяется по формуле:

$$Q_{комп} = n_{ф} \frac{f v_{с}}{V_{кр}}, \quad (3)$$

где  $Q_{комп}$  – производительность компрессора, кг/с;  $V_{кр}$  – критический удельный объем воздуха, м<sup>3</sup>/кг;  $f$  – площадь минимального сечения сопла, м<sup>2</sup>;  $v_{с}$  – критическая скорость воздуха в минимальном сечении, м/с определяется по формуле:

$$v_{с} = \sqrt{2 \left( \frac{k}{k+1} \right) R T_1},$$

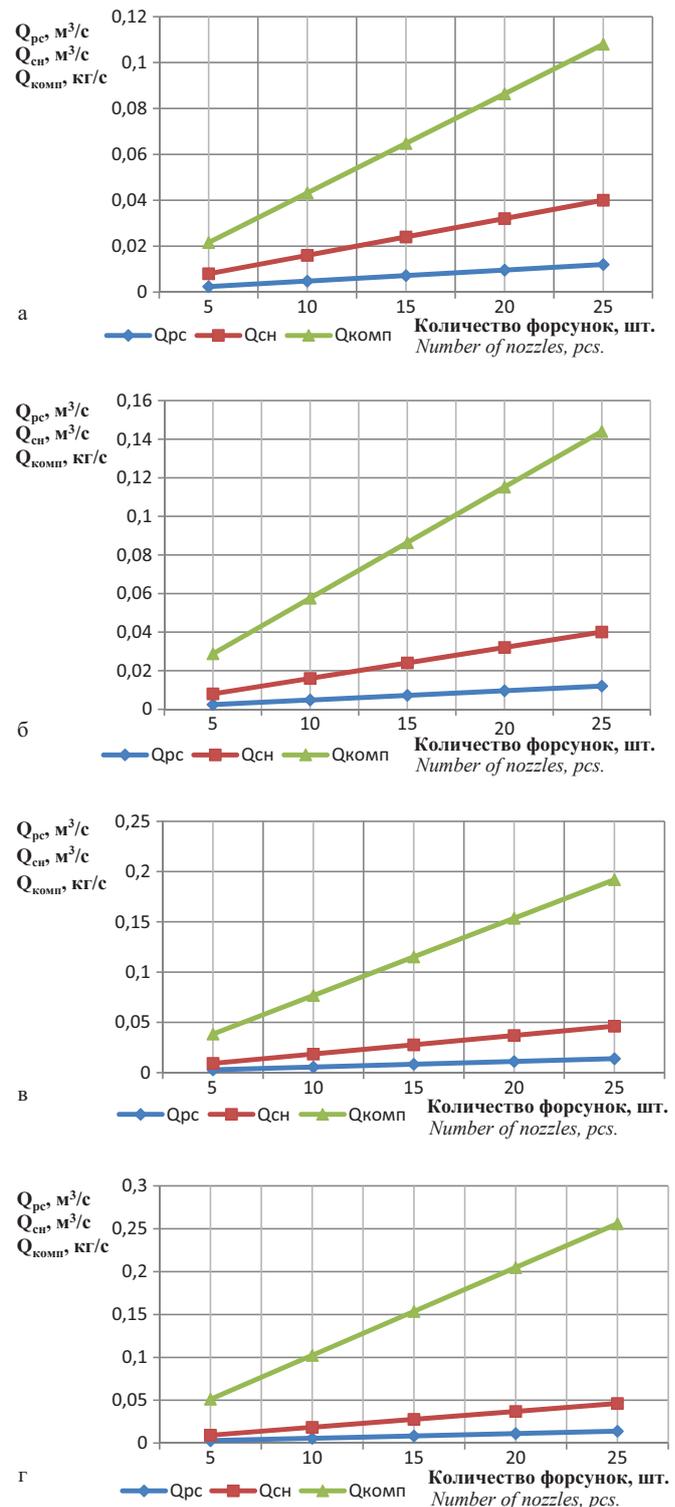
где  $k = 1,4$  – показатель адиабаты;  $R$  – газовая постоянная воздуха, Дж/(кг · К);  $T_1$  – температура сжатого воздуха перед соплом Лавала, К.

Применимость сопла Лавала в системах распыла жидкости зависит от соблюдения кинематических параметров работы установки, которые заключаются в соотношении давления сжатого воздуха перед соплом  $p_2$  и давления окружающей среды  $p_1$  с учетом соотношения  $0,33 \leq p_1/p_2 \leq 0,528$ . Исходя из данного условия с учетом того, что давление окружающей среды  $p_1 = 0,1$  МПа, давление перед соплом Лавала должно находиться в пределах  $p_2 = 0,3 \dots 0,5$  МПа.

С использованием приведенных формул (1-3) были выполнены расчеты производительности установки с распылителями на основе сопла Лавала по расходу рабочей среды  $Q_{рс}$ , производимому снегу  $Q_{сн}$  и расходу сжатого воздуха компрессором  $Q_{комп}$ . Расчет осуществлялся при следующих условиях: количество распылителей – от 5 до 25; диаметр подводящего канала форсунки – 5 мм; диаметр сопла – 3...4 мм, давление рабочей среды в системе  $p_{рс} = 0,3 \dots 0,4$  МПа; давление сжатого воздуха – 0,3...0,4 МПа; средняя плотность снега – 300 кг/м<sup>3</sup>, принятая из условий работы сопла Лавала. На основании полученных данных построены графики зависимости расходов от числа распылителей (рис. 3).

Результаты расчетов показывают, что при одинаковых конструктивных параметрах (таких, как число форсунок и диаметр сопла) на производительность установки по рабочей среде и снегу основное влияние оказывают давление подводимой воды и плотность формируемой снежной массы. Количество форсунок и диаметр сопла необходимо учитывать при выборе компрессора, обеспечивающего функционирование установки с требуемой производительностью, причем создаваемое компрессором давление должно быть в строго заданном диапазоне для стабильной работы сопла Лавала.

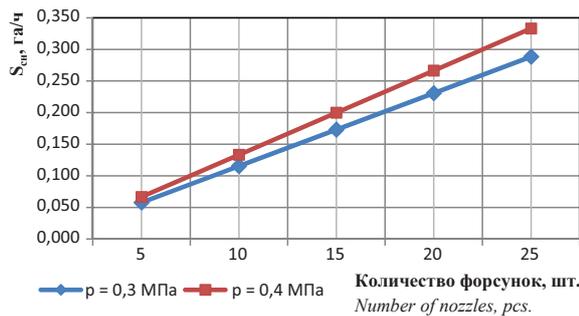
Для определения производительности установки по обрабатываемой площади необходимо учитывать агротехнологические требования, предъявляемые к обрабатываемым объектам. При обработке искусственным снегом необходимо учитывать, что величина снежного покрова, оказывающего эффективную защиту растений от влияния низких температур, должна составлять не менее 5 см. С учетом указанного требования, заданных режимов работы сопла Лавала, установленной плотности генерируемого снега теоретическая



**Рис. 3. Зависимость расхода рабочей среды, производительности снега и расхода сжатого воздуха компрессором от различных условий работы установки:**  
 а)  $p_{рс} = 0,3$  МПа,  $p_2 = 0,3$  МПа,  $d = 5$  мм,  $d_c = 3$  мм;  
 б)  $p_{рс} = 0,3$  МПа,  $p_2 = 0,4$  МПа,  $d = 5$  мм,  $d_c = 3$  мм;  
 в)  $p_{рс} = 0,4$  МПа,  $p_2 = 0,3$  МПа,  $d = 5$  мм,  $d_c = 4$  мм;  
 г)  $p_{рс} = 0,4$  МПа,  $p_2 = 0,4$  МПа,  $d = 5$  мм,  $d_c = 4$  мм

**Fig. 3. Relationship between the flow rate of the working medium, the productivity of snow, and the consumption of compressed air by the compressor on various operating conditions of the installation:**  
 а)  $p_{рс} = 0.3$  МПа,  $p_2 = 0.3$  МПа,  $d = 5$  мм,  $d_c = 3$  мм;  
 б)  $p_{рс} = 0.3$  МПа,  $p_2 = 0.4$  МПа,  $d = 5$  мм,  $d_c = 3$  мм;  
 в)  $p_{рс} = 0.4$  МПа,  $p_2 = 0.3$  МПа,  $d = 5$  мм,  $d_c = 4$  мм;  
 д)  $p_{рс} = 0.4$  МПа,  $p_2 = 0.4$  МПа,  $d = 5$  мм,  $d_c = 4$  мм

производительность установки может находиться в пределах 0,05...0,34 га/ч (рис. 4).



**Рис. 4. Зависимость производительности установки, обрабатывающей посадки искусственным снегом, от давления рабочей среды**

**Fig. 4. Relationship between the productivity of the installation treating plants with artificial snow and the working medium pressure**

Производительность установки при обработке посевов и посадок ультралёгким водяным туманом на данном этапе

#### Список использованных источников

1. Кожевникова Н.Г., Шевкун Н.А., Шевкун В.А., Драный А.В. Экспериментальные исследования условий распыла жидкостей посредством воздушного потока // *Агроинженерия*. 2021. № 6 (106). С. 32-37. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-6-32-37>
2. Кожевникова Н.Г., Шевкун Н.А., Драный А.В., Цымбал А.А., Трубилин Е.И., Коновалов В.И. Анализ характера распределения основных параметров воздушного потока в воздуховодах // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2020. № 161. С. 282-289. EDN: DKFCEV.
3. Сыроватка В.И., Дидманидзе О.Н., Шевкун Н.А., Обухов А.Д. Возможности и перспективы использования искусственного снега в сельскохозяйственном производстве // *Международный технико-экономический журнал*. 2018. № 4. С. 72-77. EDN: VMLILE.
4. Шевкун Н.А., Кабаев А.А. Анализ требований к процессу формирования снежной массы для защиты посадок земляники и садовых питомников от заморозков // *Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2017. Вып. 289. Ч. III. С. 297-298. EDN: YSSHDB.
5. Чельшев А.В., Шевкун Н.А. Анализ конструкций снегогенерирующих устройств // *Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2019. Вып. 291. Ч. II. С. 31-33. EDN: KRMLLZ.
6. Форсунка для распыления жидкости, в частности, воды в снежной пушке: патент № 2604623 Российская Федерация, МПК В05В1/34, F25С3/04 / Д. Дзюбасик, Я. Томаш; заявл. 18.10.2012; опубл. 10.12.2016, Бюл. № 34.
7. Аппарат для изготовления снега и способ его эксплуатации: патент № 2298138 Российская Федерация, МПК F25С3/04, А63С19/10 / В. Стофнер; заявл. 10.12.2002; опубл. 27.04.2007, Бюл. № 12.
8. Форсунка для пылеподавления: патент № 2446021 Российская Федерация, МПК В05В7/12 / М.А. Пашкевич, Ю.Д. Смирнов, А.В. Иванов, О.С. Добрынин, А.А. Бульбашев; заявл. 13.08.2010; опубл. 27.03.2012, Бюл. № 9.

#### Критерии авторства

Кожевникова Н.Г., Шевкун Н.А., Шевкун В.А., Драный А.В. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов подготовили рукопись. Кожевникова Н.Г., Шевкун Н.А., Шевкун В.А., Драный А.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 29.04.2022

Одобрена после рецензирования 30.05.2022

Принята к публикации 14.09.2022

определить сложно, так как она будет зависеть от конечной конструктивной компоновки агрегата.

#### Выводы

1. Применение ультралёгкого водяного тумана и искусственного снега является перспективным в сельском хозяйстве.
2. В установках генерации ультралёгкого водяного тумана и искусственного снега наиболее рационально использовать распыливающие устройства на основе сопла Лавала. На производительность установки влияют конструктивные размеры распылителя и давление подводимой рабочей среды и сжатого воздуха.
3. Теоретическая производительность установки при обработке посевов и посадок искусственным снегом может находиться в пределах 0,05...0,34 га/ч.
4. Необходимы дальнейшие исследования динамического воздействия струи распыливаемой жидкости на растения с целью определения оптимальных режимов работы (расхода и давления подаваемых воды и воздуха) и конструктивных параметров устройства, оптимального расположения распыливающих устройств относительно обрабатываемых объектов.

#### References

1. Kozhevnikova N.G., Shevkun N.A., Shevkun V.A., Draniy A.V. Eksperimental'nye issledovaniya usloviy raspyla zhidkostey posredstvom vozdušnogo potoka [Experimental studies of the conditions for spraying liquids by means of an air flow]. *Agricultural Engineering*. 2021; 6 (106): 32-37. (In Rus.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-6-32-37>
2. Kozhevnikova N.G., Shevkun N.A., Draniy A.V., Tsybmal A.A., Trubilin E.I., Kononov V.I. Analiz kharaktera raspredeleniya osnovnykh parametrov vozdušnogo potoka v vozdukhovodakh. [Analysis of the distribution pattern of the main air flow parameters in the air ducts]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020; 161: 282-289. (In Rus.)
3. Syrovatka V.I., Didmanidze O.N., Shevkun N.A., Obukhov A.D. Vozmozhnosti i perspektivy ispol'zovaniya iskusstvennogo snega v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Opportunities and prospects for the use of artificial snow in agricultural production]. *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal*. 2018; 4: 72-77. (In Rus.)
4. Shevkun N.A., Kabaev A.A. Analiz trebovaniy k protsessu formirovaniya snezhnoy massy dlya zashchity posadok zemlyaniki i sadovykh pitomnikov ot zamorozkov [Analysis of the requirements for the formation of snow mass to protect plantings of strawberries and garden nurseries from frost]. *Doklady Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2017; 289(III): 297-298. (In Rus.)
5. Chel'shev A.V., Shevkun N.A. Analiz konstruktivnykh snegogeneriruyushchikh ustroystv [Analysis of the structures of snow generators]. *Doklady Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2019; 291(II): 31-33. (In Rus.)
6. Dzyubasik D., Tomash Ya. Forsunka dlya raspilyeniya zhidkosti, v chastnosti, vody v snezhnoy pushke [Nozzle for spraying liquids, in particular, water in a snow gun]: Patent No. 2604623 Russian Federation, IPC B05B1/34, F25C3/04; 2016. (In Rus.)
7. Stofner V. Apparat dlya izgotovleniya snega i sposob ego ekspluatatsii [Device for making snow and method of its operation]: Patent No. 2298138 Russian Federation, IPC F25C3/04, A63C19/10; 2007. (In Rus.)
8. Pashkevich M.A., Smirnov Yu.D., Ivanov A.V., Dobrynin O.S., Bulbashaev A.A. Forsunka dlya pylepodavleniya [Nozzle for dust suppression]: Patent No. 2446021 Russian Federation, IPC B05B7/12, 2012. (In Rus.)

#### Contribution

N.G. Kozhevnikova, N.A. Shevkun, V.A. Shevkun and A.V. Draniy performed theoretical studies and, based on the results obtained wrote the manuscript. N.G. Kozhevnikova, N.A. Shevkun, V.A. Shevkun and A.V. Draniy have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

#### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The article was received 29.04.2022

Approved after reviewing 30.05.2022

Accepted for publication 14.09.2022