Тип статьи: научная
УДК 631.12: 667.661.2
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-5-7-19

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЖЕКТОРНЫХ ПНЕВМОПИСТОЛЕТОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ КОНСЕРВАЦИИ СЕЛЬХОЗМАШИН

Александр Иванович Петрашев [1]***, Виктор Валерьевич Клепиков*** [2]
[1, 2] *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия*
[1] vitin-10.pet@mail.ru, ORCIDE: https://orcid.org/0000-0002-7949-6883, Researcher ID: ABD-2066-2021, Scopus ID:57211665518
[2] viktrikt@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Александр Иванович Петрашев
Corresponding author: Alexandr Petrashev

Реферат. *Для нанесения антикоррозионных материалов с крупными наполнителями применяют эжекторные пневмопистолеты GAV-167 и Voylet PS-5. Пневмопистолеты имеют приемную камеру для ввода материала, эжектор с воздушным соплом, камеру смешения и распылительное сопло. При подаче сжатого воздуха через эжектор в приемной камере создается разрежение. Исследованием установлено, что давление разрежения в приемной камере возрастало при увеличении давления распыла, размера распылительного сопла и уменьшении длины приемной камеры. Изучен процесс распыла технических жидкостей условной вязкостью от 11 до 80 с по вискозиметру ВЗ-4. Отмечено низкое качество распыла жидкостей пневмопистолетом GAV-167. Расход жидкости при распыле пневмопистолетом Voylet PS-5 зависел от длины приемной камеры. При увеличении длины камеры с минимальной до максимальной расход повышался в 2 раза. Предложено, для распыления маловязкого материала устанавливать максимальную длину приемной камеры. Для распыления вязкого материала необходимо устанавливать минимальную длину камеры. Наблюдения показали, что на минимальной длине приемной камеры степень диспергирования материала была выше. Проведена модернизация пневмопистолета Voylet PS-5 на принудительную подачу материала по шлангу из напорного бака. Разработаны гибкая насадка и удлинитель для нанесения антикоррозионного материала на труднодоступные поверхности машин.*

Ключевые слова: *эжекторный пневмопистолет, давление разрежения, расход жидкости, антикоррозионная защита.*

RESULTS OF THE STUDY OF PNEUMATIC EJECTOR GUNS FOR USE IN THE PROTECTION OF AGRICULTURAL MACHINES

Alexandr Petrashev [1]***, Victor Klepikov*** [2]
[1, 2] *All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[1] vitin-10.pet@mail.ru, ORCIDE: https://orcid.org/0000-0002-7949-6883, Researcher ID: ABD-2066-2021, Scopus ID:57211665518
[2] viktrikt@mail.ru

Abstract. *Ejector pneumatic pistols such as the GAV-167 and Voylet PS-5 used for the application of anticorrosive materials with large fillers. Pneumatic pistols have a receiving chamber for material input, an ejector with an air nozzle, a mixing chamber and a spray nozzle. When compressed air supplied through the ejector, a vacuum created in the receiving chamber. The research found that the vacuum pressure in the receiving chamber increased with an increase in the spray pressure, the size of the spray nozzle and a decrease in the length of the receiving chamber. The process of spraying technical liquids*

with a conditional viscosity from 11 to 80 seconds according to the VZ-4 viscometer has studied. The low quality of liquid spraying of the GAV-167 pneumatic pistol was noted. The liquid consumption when sprayed with a Voylet PS-5 pneumatic pistol depended on the length of the receiving chamber. With an increase in the length of the chamber from the minimum to the maximum, the consumption increased by 2 times. It proposed to set the maximum length of the receiving chamber for spraying low-viscosity material. To spray viscous material, it is necessary to set the minimum length of the chamber. Observations showed that the degree of dispersion of the material was higher at the minimum length of the receiving chamber. The Voylet PS-5 pneumatic pistol has upgraded to force the supply of material through a hose from a pressure tank. A flexible nozzle and extension have developed for applying anticorrosive material to hard-to-reach surfaces of machines.

Keywords: *ejector pneumatic pistol, vacuum pressure, liquid consumption, anticorrosion protection*.

Для цитирования: Петрашев А.И., Клепиков В.В. Результаты исследования эжекторных пневмопистолетов для применения при консервации сельхозмашин // Наука в центральной России. 2022. № 5 (59), С. 7-19. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-7-19.

For citation: Petrashev A., Klepikov V. Results of the study of pneumatic ejector guns for use in the protection of agricultural machines. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 5(59): 7-19. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-7-19.

Введение. По окончании полевых работ изготовленные из углеродистых сталей поверхности рабочих механизмов сельскохозяйственных машин нуждаются в антикоррозионной защите. Как правило, антикоррозионная защита выполняется путем нанесения консервационных составов (консервантов) в процессе подготовки машин к длительному хранению. Следует отметить, что потребность машин в консервантах носит регулярный характер – на МТП среднего сельхозпредприятия их требуется ежегодно от 200 кг. Положительный эффект от применения мер антикоррозионной защиты неочевиден и проявляется спустя несколько лет после начала эксплуатации машины в виде повышения безотказности, технического ресурса и снижения затрат на ремонты [1]. Финансовая нестабильность сельхозпредприятий не позволяет им ежегодно закупать дорогостоящие промышленные антикоррозионные материалы по цене от 250 до 500 руб/кг на сумму от 50 тыс. руб. Для того чтобы минимизировать статью расходов на приобретение средств для консервации сельхозмашин, технические специалисты готовят доступные консерванты собственными силами с привлечением отработанных масел, битума, бензина, дизтоплива, пушечного сала или отходов нефтехимии [2]. Консерванты собственного приготовления часто содержат нерастворенные примеси, мелкие фрагменты упаковки, растительные включения и т.п. Поэтому они нуждаются в тщательном фильтровании на специализированных устройствах, которых сельхозпредприятия не имеют.

Для механизированного нанесения консервантов на поверхности сельхозмашин рентабельны окрасочные установки с пневматическими краскораспылителями, оснащенными распылительными головками [3]. При использовании краскораспылителей для нанесения консервантов собственного приготовления достаточно часто наблюдаются технологические отказы из-за засорения материальных сопел, через которые состав поступает на распыление сжатым воздухом.

В зависимости от места смешения консерванта (или краски) с воздухом распылительные головки подразделяются на головки внешнего и внутреннего смешения [4]. В краскораспылителях с внешним смешением воздушное сопло расположено концентрично материальному и имеет форму кольцевого отверстия. Торцевые стороны обоих сопел находятся практически в одной плоскости, поэтому краска и воздух истекают из сопел в атмосферу. При включении краскораспылителя сжатый воздух с большой скоростью выходит из кольцевого отверстия и создает разрежение перед материальным соплом. Краска подсасывается в зону разрежения, где диспергируется на мелкие капли и образует факел движущегося аэрозоля. Краска (или консервант) в факеле аэрозоля достигает окрашиваемой поверхности и осаждается на ней, образуя покрытие. К краскораспылителям с головками внешнего смешения относятся КРП-11 (с верхним наливным бачком), СО-71 (с верхним бачком и нижним штуцером), Matrix 57316 (с нижним металлическим

бачком) и др. Ни рисунке 1 показаны эти краскораспылители. Они хорошо распыливают жидкую краску с повышенными до 22 % потерями на туманообразование [3].

В краскораспылителях с внутренним смешением краска под давлением подается в полость головки, где вступает в контакт со сжатым воздухом. Необходимость подачи краски под давлением обусловлена противодавлением, которое создает воздух в зоне смешения. Увлекаясь потоком воздуха, краска движется внутри головки к распылительному соплу. В узком отверстии сопла скорость воздуха возрастает, и краска дробится на капли. Как правило, степень дробления краски головками внутреннего смешения меньше, чем головками внешнего смешения. Так как их факел состоит из грубодисперсных капель, то потери краски на туманообразование тоже меньше [5]. Однако, из-за низких декоративных свойств покрытий, формируемых грубодисперсным аэрозолем, головки внутреннего смешения при окраске машин не используют.

КРП-11 СО-71 Matrix 57316

Рисунок 1 – Краскораспылители с головками внешнего смешения

К консервационным покрытиям декоративные требования, относительно блеска, фактуры и класса, не предъявляются. Поэтому головки внутреннего смешения находят применение при нанесении консервантов на поверхности труднодоступных узлов, внутренних полостей и в условиях ветровой нагрузки на открытых площадках [4]. Такого типа головки и насадки монтируются на краскораспылителях КРП-11 или СО-71 при комплектовании ими компактного аппарата ПРК-4, передвижной установки для распыления красок и мастик ПРК-3 [6], навесного консервационного агрегата УЛН-03 (рисунок 2) и других.

ПРК-4 ПРК-3 УЛН-03

Рисунок 2 – Консервационное оборудование с головками внутреннего смешения

Общим недостатком головок внешнего и внутреннего смешения, устанавливаемых на пневматических краскораспылителях, является малый диаметр материального сопла: 1,8 мм у КРП-11 и 2,1 мм у СО-71. Для выполнения покрасочных работ с тонкодисперсными лакокрасками

эти диаметры сопел являются оптимальными, но для нанесения автоконсервантов с наполнителями в виде резиновой крошки они не пригодны. Производители технологического оборудования для автосервиса предлагают наносить подобного вида автоконсерванты с помощью пневмопистолетов, снабженных воздушно-жидкостными эжекторами [7]. Принципиальная схема пневмопистолета с эжектором для подачи и распыления автоконсерванта показана на рисунке 3.

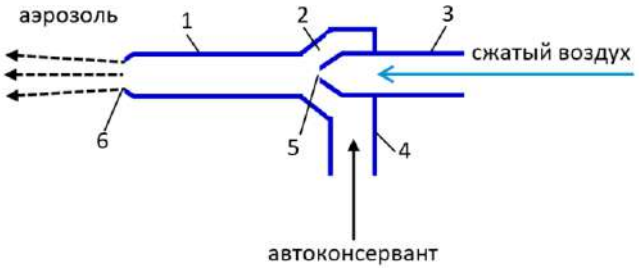


Рисунок 3 – Принципиальная схема устройства эжекторного пневмопистолета для нанесения автоконсерванта: 1 – камера смешения; 2 – приемная камера; 3 – воздушный канал; 4 – канал для ввода автоконсерванта; 5 – воздушное сопло; 6 – распылительное сопло

Пневмопистолет с эжектором относится к распылителям с внутренним смешением автоконсерванта и воздуха. Сжатый воздух, движущийся по каналу 3, ускоряется в узком сечении воздушного сопла 5 и создает разрежение в приемной камере 2. Под действием разрежения автоконсервант засасывается по каналу 4 и поступает в приемную камеру 2, где увлекается воздушным потоком. Та часть жидкости, которая втягивается в ядро воздушного потока, резко ускоряется, диспергируется воздухом на капли и движется по камере 1 смешения в виде аэрозоля. Другая часть жидкости поступает в пристенную зону камеры 1 смешения, где скорость воздушного потока невелика, и движется по ее стенке в виде кольцевого слоя. В камере 1 смешения происходит выравнивание давлений потоков воздуха и автоконсерванта, а кинетическая энергия смеси отчасти преобразуется в потенциальную энергию сжатия [8]. На выходе из узкого распылительного сопла 6 скорость воздушного потока возрастает. При этом кольцевой слой автоконсерванта, перемещаемый этим потоком, тоже ускоряется, а при сходе с кромки сопла 6 разрывается на капли. Соединяясь с воздушным потоком капли консерванта образуют аэрозольный факел распыла. Так как в пистолете с эжектором реализован способ внутреннего смешения, то факел распыла получается грубодисперсным. Степень дробления автоконсерванта на капли находится в обратной зависимости от сечения распылительного сопла 6 [5].

На рынке предлагаются разнообразные по исполнению и назначению пневмопистолеты с эжекторами для нанесения автоконсервантов (мовиля, мастики, антигравия), в их числе пневмопистолет Kraft KT-707055, пневмопистолет Voylet PS-5 и пневмопистолет GAV-167, показанные на рисунке 4.

Kraft KT-707055 Voylet PS-5 GAV-167

Рисунок 4 – Пневмопистолеты с эжектором для нанесения автоконсервантов

Пневмопистолет Kraft KT-707055 оснащен нижним наливным бачком на 0,5 л, к пневмопистолетам Voylet PS-5 и GAV-167 присоединяются жестяные евробаллоны на 1,0 л, наполненные автоконсервантами. Пневмопистолет Voylet PS-5 имеет регулируемую приемную камеру. Так как в пистолетах с эжекторами вводится (засасывается) автоконсервант под действием

разрежения в приемной камере, то возникновение противодавления воздуха в камере смешения может влиять на подачу автоконсерванта. Использование запасных евробаллонов, заранее заправленных автоконсервантом, способно сократить потери времени на их замену и повысить производительность процесса нанесения. Однако, широкое применение последних двух пневмопистолетов сдерживается дефицитностью евробаллонов, которые поставляются вместе с автоконсервантом по цене от 600 руб/шт [9]. Эта цена составляет, примерно, треть стоимости пневмопистолета. Отечественная полиэтиленовая тара из-под жидких напитков не годится для замещения евробаллонов из-за разности параметров резьбы на горловине.

Эжекторы находят применение в конструкциях струйных аппаратов и насосно-эжекторных систем, например, для транспортирования песчано-гравийной смеси [10], для отсоса газов и жидкости при нефтедобыче [11], для ввода реагента в промысловое оборудование [12]. В статье [10] показано, что при входе песчаного-гравийного потока в камеру смешения происходит падение давления, вызванное сопротивлением входа и разгоном потока. В работе [13] по результатам исследования газо-жидкостного эжектора выявлено, что эффективность процесса эжектирования снижается с увеличением величины отношения давления высоконапорной среды (воздуха) к давлению низконапорной среды (жидкости). При этом плотность потока жидкостно-газовой смеси:

$$\rho_{см} = \frac{K_{об}\rho_{ж} + \rho_{в}}{K_{об} + 1},$$

где $K_{об}$ – объемный коэффициент эжекции; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости; $\rho_{в}$ – плотность воздуха.

Объемный коэффициент эжекции:

$$K_{об} = \frac{G_{ж}\rho_{в}}{G_{в}\rho_{ж}},$$

где $G_{ж}$, $G_{в}$ – массовый расход соответственно низконапорной среды (жидкости), и высоконапорной среды (воздуха), м^3/с.

Михальченкова А.Н., исследуя процесс эжекции жидких сред [14], установила, что с увеличением плотности эжектируемой (всасываемой) жидкости коэффициент эжекции повышается, а при увеличении вязкости эжектируемой жидкости коэффициент эжекции снижается. По итогам исследования характеристик газо-газовых бездиффузорных струйных аппаратов Мазилевским И.И. получено, что длина камеры смешения, равная 4,7 ее диаметра ($4{,}7d_{кс}$ = 15 мм), обеспечивает наибольший напор струйного аппарата [15]. С увеличением коэффициента эжекции напор смеси газов снижается.

Проведенный анализ работ, посвященных изучению применимости эжекционных устройств, не выявил исследований по оценке влияния конструктивно-технологических параметров газо-жидкостных эжекторов на расход и качество распыления технических жидкостей различной вязкости, в т. ч. при нанесении консервационных покрытий.

Цель исследования – повышение технологической надежности и производительности работы эжекторных пневмопистолетов для применения при нанесении консервационных покрытий на рабочие механизмы сельхозмашин.

Материалы и методы

Исследования проводили в помещении при температуре воздуха 12-19 ^{o}C на 3-х моделях пневматических пистолетов-распылителей, оснащенных нижними всасывающими трубками:

краскораспылитель Matrix 57316 снабжен головкой внешнего смешения и сменными материальными соплами диаметрами $d_{с}$ = 1,5 и 1,8 мм;

пневмопистолет GAV-167 снабжен нерегулируемой приемной камерой и сменными распылительными соплами: круглым соплом $d_{с}$ = 9 мм, соплом для обработки внутренних полостей и экспериментальным овальным соплом 12х3 мм;

пневмопистолет Voylet PS-5 снабжен круглым соплом $d_{с}$ = 6 мм и приемной камерой, регулируемой от l_{min} (минимальная длина) до $l_{max} = l_{min}$ + 20 мм (максимальная длина).

Проведены работы по модернизации пневмопистолетов с целью замещения евробаллонов на отечественную полиэтиленовую тару (ПЭТ) из-под молочных продуктов с горловиной, соответствующей стандарту «38» для преформы. У пневмопистолета Voylet PS-5, имеющего

сборную металлическую гайку-крышку для крепления евробаллона, эта задача решена путем закрепления пластиковой крышки от горловины ПЭТ внутри гайки-крышки. Для пневмопистолета GAV-167 с пластиковым узлом крепления евробаллона изготовлен на 3D-принтере новый пластиковый узел с внутренней резьбой стандарта «38», которая соответствует горловине ПЭТ.

Общая схема исследования технологических параметров пневмопистолетов дана на рисунке 5. Изучали влияние давление распыливающего воздуха (давление распыла) $p_{сж}$ на величину давления разрежения (вакуума) $\Delta p_{в}$ в материальном сопле краскораспылителя Matrix 57316 и в приемной камере пневмопистолетов GAV-167 и Voylet PS-5.

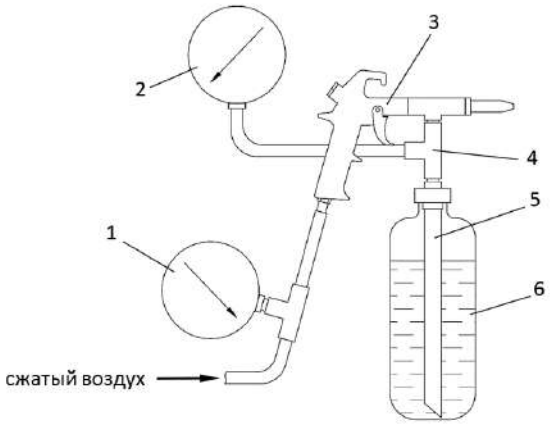


Рисунок 5 – Общая схема исследования параметров эжекторных пневмопистолетов: 1 – манометр давления распыла; 2 – вакуумметр; 3 – пневмопистолет; 4 – тройник; 5 – всасывающая трубка с гайкой-крышкой; 6 – ПЭТ с технической жидкостью

Для определения давления разрежения $p_{раз}$ – всасывающую трубку 5 вместе с баллоном 6 отсоединяли от тройника 4, а отверстие в тройнике 4 закрывали заглушкой. Посредством пневморедуктора с манометром устанавливали давление распыливающего воздуха: 100, 200, 300, 400 и 500 кПа. Измерение вакуума выполняли посредством вакуумметра ВП4-У класса точности 1,5 (ГОСТ 2405-80) с ценой деления 0,02 kgf/cm^2 (2 кПа). На каждом давлении распыла делали по 5 измерений вакуума. Величину давления разрежения рассчитывали, как среднее значение из полученных измерений.

Для исследования расхода технической жидкости – от пневмопистолета 3 отсоединяли тройник 4, а к пневмопистолету 3 присоединяли всасывающую трубку 5 с гайкой-крышкой, к которой крепили баллон 6 с жидкостью. Определяли расход q технической жидкости в зависимости от давления $p_{сж}$ распыливающего (сжатого) воздуха. В качестве технических жидкостей использовали дизельное топливо (ДТ), смесь отработанного моторного масла с 15 % дизтоплива (ММО+ДТ) и отработанное моторное масло (ММО). Вязгость определяли с помощью вискозиметра ВЗ-246 по методике ГОСТ 8420-74. Исследуемую техническую жидкость заливали в баллон (бачок) пневмопистолета (краскораспылителя) в объеме – V_1 = 1000 мл. Пневморедуктором устанавливали необходимое давление распыливающего воздуха (200, 300, 400 и 500 кПа), которое контролировали по манометру. Пневмопистолет направляли в открытую пластиковую камеру и распыливали жидкость в течение 20 с на стенку камеры. Время распыления – t контролировали по секундомеру. По истечении этого времени прекращали распыление и замеряли объем – V_2 жидкости, оставшийся в бачке (баллоне).

Распыленный объем – ΔV (мл) вычисляли как разность объемов:

$$\Delta V = V_1 - V_2.$$

Расход – q (мл/с) рассчитывали по формуле:

$$q = \Delta V / t.$$

При определении давления всасывания – $p_{вс.}$ в приемной камере пневмопистолета 3 в процессе распыления жидкости – работали по схеме, приведенной на рисунке 5.

Результаты и их обсуждение

Процесс истечения сжатого воздуха из воздушных сопел сопровождался появлением разрежения в материальном сопле краскораспылителя Matrix 57316 и в приемных камерах пневмопистолетов Voylet PS-5, GAV-167 (рисунок 6). Установлено, что величина давления разрежения $p_{вак}$ находится в прямой зависимости от давления распыла $p_{рас}$ и достаточно точно описывается эмпирическим полиноминальным уравнением второй степени. Обобщенное эмпирическое уравнение давления разрежения для всех графиков, отображенных на рисунке 6, имеет вид:

$$p_{вак} = -a \cdot 10^{-b} p_{рас}^2 + c \cdot p_{рас} + d,$$

где a, b, c, d – эмпирические коэффициенты линии тренда из диаграммы Exel.

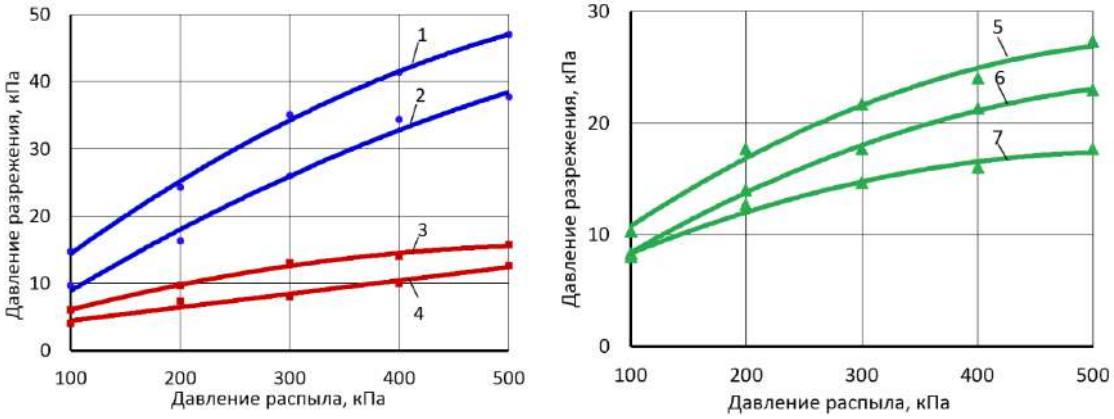


Рисунок 6 – Зависимость давления разрежения (вакуума) от давления распыла: пневмопистолет Voylet PS-5, сопло круглое d_c = 6 мм, минимальная длина приемной камеры – график 1, максимальная длина – график 2; краскораспылитель Matrix 57316, сопло круглое d_c = 1,5 мм – график 3, сопло круглое d_c = 1,8 мм – график 4; пневмопистолет GAV-167, сопло круглое d_c = 9 мм – график 5, сопло для порогов – график 6, сопло овальное 12х3 мм – график 7

Рассмотрим влияние конструктивных параметров исследованных распылителей на величину давления разрежения. Анализ проведем по данным, полученным при давлении распыла $p_{сж}$ = 400 кПа, которое указывается во всех паспортных данных на распылители.

Краскораспылитель Matrix 57316. Давление разрежения зависело от диаметра сопла. В сопле меньшего диаметра (d_c = 1,5 мм) его величина составила 14 кПа, что было немногим (на 4 кПа) выше, чем в сопле большего диаметра (1,8 мм). В данном краскораспылителе давление разрежения было меньше, чем в пневмопистолетах эжекторного типа.

Пневмопистолет Voylet PS-5. Диаметр распылительного сопла не менялся (d_c = 6 мм). Давление разрежения зависело от длины приемной камеры. Минимальная длина приемной камеры обеспечила разрежение в 41 кПа, максимальная – на 20 % меньше (32,4 кПа по линии тренда).

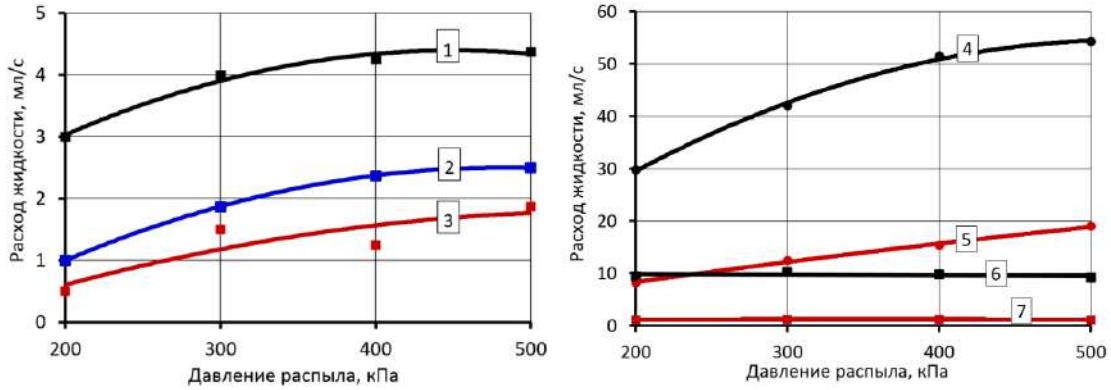
Пневмопистолет GAV-167. Конструкция приемной камеры не имела регулировку длины. Давление разрежения напрямую зависело от площади распылительного сопла. При исследовании круглого сопла площадью 64 мм^2 (d_c = 9 мм^2) получено давление разрежения 24 кПа, на овальном сопле площадью 29 мм^2 давление разрежения не превысило 16 кПа (было ниже на 33 %).

Проведенным исследованием эжекторных пневмопистолетов установлено, что давление всасывания (вакуум) в приемной камере возрастало при увеличении давления распыла и площади сечения распылительного сопла, а также при уменьшении длины приемной камеры.

На рисунке 7 приведены результаты исследования краскораспылителя Matrix 57316 и пневмопистолета GAV-167 по оценке влияния давления распыла на расход технических жидкостей различной вязкости. С увеличением давления распыла с 200 до 400 кПа отмечен рост расхода маловязкой жидкости (11 с ВЗ-4) при ее распылении из краскораскораспылителя Matrix 57316 (расход возрос до 4,6 мл/с). В случае распыления жидкости средней вязкости (37 с ВЗ-4)

расход из краскораспылителя не превысил 2,5 мл/с, а при распылении вязкой жидкости (69 с ВЗ-4) – 1,5 мл/с. Эксперименты показали, что краскораспылитель пригоден для работы с лакокрасочными и консервационными материалами небольшой вязкости.

Пневмопистолет GAV-167, снабженный круглым соплом (d_c = 9 мм^2), на маловязкой жидкости работал подобно струйному воздушно-жидкостному насосу, выкачивая жидкость из ПЭТ с расходом 50 мл/с (3,0 л/мин). При распылении вязкой жидкости ее расход из круглого сопла пневмопистолета понизился до приемлемого уровня – 10 мл/с, но качество распыла стало неудовлетворительным, так как исходящий воздушно-жидкостный поток состоял из крупных капель, сконцентрированных в центральной части факела распыла. Оснащение пневмопистолета овальным соплом позволило улучшить качество распыла маловязкой жидкости, снизив расход до 16 мл/с. Однако, данное сопло не пригодно для нанесения вязкой жидкости из-за низкого уровня расхода – не более 1,3 мл/с.



краскораспылитель Matrix 57316 пневмопистолет GAV-167

Рисунок 7 – Зависимость расхода от давления распыла и вязкости жидкости для краскораспылителя Matrix 57316: сопло круглое d_c = 1,8 мм – графики 1, 2, 3; для пневмопистолета GAV-167: сопло круглое d_c = 9 мм – графики 4, 5; сопло овальное 12х3 мм – графики 6, 7; условная вязкость жидкостей: 11 с ВЗ-4 – графики 1, 4, 6; 37 с ВЗ-4 – график 2; 69 с ВЗ-4 – графики 3, 5, 7

Результаты исследования расхода жидкостей при распылении пневмопистолетом Voylet PS-5 отражены на рисунке 8.

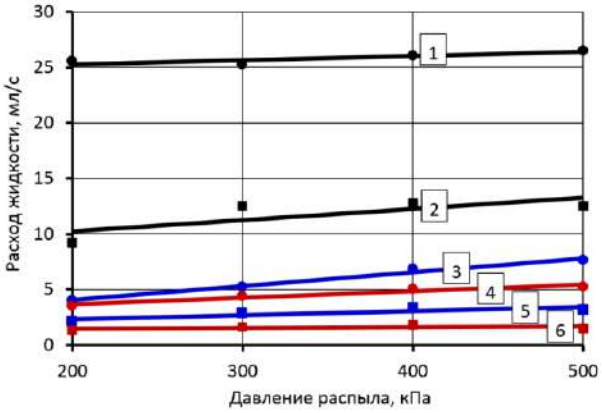


Рисунок 8 – Зависимость расхода от давления распыла и вязкости жидкости для пневмопистолета Voylet PS-5: длина приемной камеры минимальная – графики 1, 3, 4; длина приемной камеры максимальная – графики 2, 5, 6; условная вязкость жидкостей: 11 с ВЗ-4 – графики 1, 2; 37 с ВЗ-4 – графики 3, 5; 80 с ВЗ-4 – графики 4, 6

Обобщенное эмпирическое уравнение расхода q (мл/с) жидкости по всем графикам, отображенным на рисунке 8, имеет вид:

$$q = c \cdot p_{\text{рас}} + q_{\text{о}},$$

где c – эмпирический коэффициент линии тренда из диаграммы Exel, мл/(с·кПа); $q_{\text{о}}$ – расход жидкости при давлении распыла $p_{\text{рас}}$ = 200 кПа, мл/с.

По данным исследований, расход жидкости при распылении пневмопистолетом Voylet PS-5 в большей мере зависел от регулировки длины приемной камеры, чем от давления распыла. Так, при давлении распыла 400 кПа, расход жидкости, независимо от ее вязкости, возрастал почти в 2 раза при изменении регулировки длины приемной камеры с максимальной на минимальную.

Анализ результатов исследования позволил предложить для распыления маловязкой жидкости (11-20 с ВЗ-4) регулировать приемную камеру на длину ближе к максимальной, для распыления жидкости средней вязкости (30-40 с ВЗ-4) – на длину меньше средней, для распыления вязкой жидкости (менее 80 с ВЗ-4) – на минимальную длину. Наблюдения показали, что степень диспергирования жидкости была выше на минимальной длине приемной камеры. Визуально установлено, что с увеличением вязкости жидкости возрастали размеры капель в факеле распыла, повышалась толщина покрытия и увеличивался расход жидкости на 1 м^2 площади поверхности.

Проведены опыты по определению давления всасывания – $p_{\text{вс.}}$ в приемной камере пневмопистолета в процессе распыления маловязкой жидкости при минимальной регулировке длины приемной камеры. Установлено, что в момент поступления жидкости в приемную камеру давление всасывания падало с 41 кПа до 2 кПа, что вызывало пульсацию подачи жидкости и прерывистость факела распыла. Падение давления всасывания связано с повышением противодавления в приемной камере из-за роста сопротивления воздушному потоку, которое вызвано сужением сечения камеры смешения при поступлении в нее жидкости, а также торможением воздушного потока при передаче части кинетического импульса к потоку ускоряющейся жидкости. Это согласуется с выводами, приведенными в работе [10].

С целью обеспечения стабильности работы и качественного распыления консервантов различной вязкости проведена модернизация пневмопистолета Voylet PS-5, предусматривающая принудительную подачу консерванта в приемную камеру из напорного бака. Взамен всасывающей трубки и гайки-крышки к пневмопистолету прикреплен запорный кран с подпружиненной рукоятью (рисунок 9а), а на поверхности патрубка, представляющего собой камеру смешения, нарезана резьба. Запорный кран посредством шланга присоединен к напорному баку с консервантом. Подача консерванта в пневмопистолет осуществляется под давлением сжатого воздуха в напорном баке.

а)

б)

в)

Рисунок 9 – Варианты комплектования эжекторного пневмопистолета Voylet PS-5:
а) – певмопистолет с запорным краном; б) – с гибкой насадкой; в) – с удлинителем

В результате проведенной модернизации пневмопистолета Voylet PS-5 изменен способ подачи в него консерванта из эжекторного (подача консерванта за счет всасывания) в инжекторный (подача консерванта под давлением). При этом приемная камера пневмопистолета фиксируется на минимальной длине, обеспечивающей мелкодисперсное распыление консерванта. Чтобы включить пневмопистолет в работу, одной рукой нажимают на его курок и подают в камеру смешения сжатый воздух, а другой – на рукоять запорного крана и подают консервант. Возможна фиксация курка пневмопистолета во включенном состоянии с постоянной подачей сжатого воздуха, при этом его работой управляют посредством включения и выключения запорного крана. Расход консерванта, степень его диспергирования и производительность нанесения регулируют путем изменения давлений воздуха на его распыл и на выдачу из напорного бака.

Для расширения технологических возможностей по применению пневмопистолета, разработаны и изготовлены гибкая насадка (рисунок 9б) и удлинитель с овальным соплом (рисунок 9в), которые навинчиваются на выполненную резьбовую часть патрубка пневмопистолета. Гибкая насадка предназначена для нанесения консерванта в закрытые полости порогов, лонжеронов и коробов автомобиля. Удлинитель – для нанесения консерванта на днище и арки колес автомобиля, а также для обработки консервантом труднодоступных узлов сельхозмашин. Применение удлинителя удаляет факел распыла от зоны дыхания работающего оператора и приближает его к поверхности консервируемого узла. В результате улучшаются условия работы оператора, и снижаются потери консерванта от ветровой нагрузки, воздействующей на факел распыла. Следует учесть, что достаточно большой диаметр проходного отверстия (6 мм) для консерванта позволят исключить засорение пневмопистолета и сбои в его работе. Тем самым обеспечивается высокий уровень технологической надежности процесса пневмонанесения консервационных покрытий на узлы сельхозмашин.

Заключение

Применение краскораспылителей с головками внешнего и внутреннего смешения, имеющих материальные сопла малого диаметра 1,5-2,1 мм, сопряжено с частыми технологическими отказами при нанесении консервантов, которые содержат крупнодисперсные наполнители, добавки или неотфильтрованные включения. Более приемлемыми для нанесения таких консервантов, расфасованных в жестяные евробаллоны вместимостью 1 л, являются эжекторные пневмопистолеты, у которых площадь сечения отверстий для прохода консерванта на порядок больше, чем у краскораспылителей.

Выполнены работы по модернизации эжекторных пневмопистолетов для замещения евробаллонов на отечественную полиэтиленовую тару (ПЭТ) из-под молочных продуктов вместимостью 1 л с горловиной, соответствующей стандарту «38» для преформы. Проведены исследования по оценке влияния конструктивно-технологических параметров на работу эжекторных пневмопистолетов GAV-167, Voylet PS-5 и краскораспылителя Matrix 57316 при распылении технических жидкостей различной вязкости. Исследованием эжекторных пневмопистолетов установлено, что давление разрежения в приемной камере возрастало до 41 кПа при увеличении давления распыла и уменьшении длины приемной камеры, а также при увеличении площади сечения распылительного сопла.

Эксперименты по распылению технических жидкостей показали, что краскораспылитель Matrix 57316 пригоден для работы с лакокрасочными и консервационными материалами небольшой вязкости. Пневмопистолет GAV-167, снабженный круглым соплом (d_c = 9 мм^2), смог распыливать вязкую жидкость (69 с ВЗ-4) с расходом 10 мл/с только на крупные капли (неудовлетворительное качество распыла). Расход жидкости при распылении пневмопистолетом Voylet PS-5 в большей мере зависел от регулировки длины приемной камеры, чем от давления распыла. Так, при давлении распыла 400 кПа, расход жидкости, независимо от ее вязкости, возрастал почти в 2 раза при изменении регулировки длины приемной камеры с максимальной на минимальную. Предложено для распыления маловязкого консерванта (11-20 с ВЗ-4) регулировать приемную камеру на длину ближе к максимальной, для распыления консерванта средней вязкости (30-40 с ВЗ-4) – на длину меньше средней, для распыления вязкого консерванта (менее 80 с ВЗ-4) – на минимальную длину. Наблюдения показали, что на минимальной длине приемной камеры степень диспергирования консерванта была выше.

Для обеспечения стабильности работы и качественного распыления консервантов различной вязкости, пневмопистолет Voylet PS-5 переоборудован на их принудительную подачу под давлением из напорного бака. Разработаны гибкая насадка к этому пневмопистолету для нанесения консерванта в закрытые полости автомобиля и удлинитель – для нанесения консерванта на днище и арки колес автомобиля, а также для обработки консервантом труднодоступных узлов сельхозмашин.

Список источников

1. Прохоренков В.Д., Петрашев А.И. Практика защиты от коррозии сельскохозяйственной техники в современных условиях // Технология металлов. 2000. № 8. С. 14-20. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=41338370 (дата обращения 20.09.2022).

2. Петрашев А.И., Зазуля А.Н., Клепиков В.В. Доступный консервант для почвообрабатывающей техники // Сельский механизатор. 2019. № 2. С. 36-37. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=41245346 (дата обращения 20.09.2022).

3. Экспериментальные закономерности пневмораспыления консервационных материалов / А.И. Петрашев, В.Д. Прохоренков, В.В. Клепиков, Ф.Д. Таха // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 120. С. 59-63. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=24345815 (дата обращения 20.09.2022).

4. Яковлев А.Д., Евстигнеев В.Г., Гисин П.Г. Оборудование для получения лакокрасочных покрытий. Л.: Химия, 1982. 192 с.

5. Петрашев А.И. Гибкая насадка для распыления консервационных составов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2004. № 1. С. 27-28. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=38470516 (дата обращения 20.09.2022).

6. Петрашев А.И. Пневматическая установка для нагрева и распыления вязких красок и мастик в условиях АПК // Практика противокоррозионной защиты. 2001. № 4 (22). С. 23-26. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=41338370 (дата обращения 20.09.2022).

7. Все инструменты. Пистолеты для нанесения покрытий. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.vseinstrumenti.ru/instrument/pnevmoinstrument/pnevmopistolety/drugie/ (дата обращения 20.09.2022).

8. Дубровин И., Дубровин Н. Этот старый новый струйный аппарат. Газета: Энергетика и промышленность России. 2009, № 13 (129). [Электронный ресурс]. – URL: https://www.eprussia.ru/epr/129/10010.htm (дата обращения 20.09.2022).

9. Ozon.ru. Антикор Евробаллон [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ozon.ru/category/antikor-evroballon/ (дата обращения 20.09.2022).

10. Спиридонов Е.К., Якубов Г.Г., Хабарова Д.Ф. Гидроструйный эжекционный гидрометатель сыпучих материалов. Рабочий процесс и характеристики // Вестник Южно-Уральского ГУ. Серия «Машиностроение». 2020. Т. 20, № 1. С. 47-54. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=42545101 (дата обращения 20.09.2022).

11. Дроздов А.Н., Демьянова JLA. Исследование работы струйного аппарата при различных длинах камеры смешения и эжектирования струей жидкости газожидкостной смеси // Нефтепромысловое дело, 1994, № 6. С 4-7. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=35232357 (дата обращения 20.09.2022).

12. Способ ввода ингибитора в промысловый газопровод с помощью односоплового эжекционного струйного аппарата / П.П. Павленко, А.В. Поляков, С.И. Бойко, П.С. Кунина // Газовая промышленность, 2012. № 6 (677). С. 44-46. – URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=17804031 (дата обращения 20.09.2022).

13. Поляков А.В. Исследование и разработка устройств для подачи реагента в трубопровод при давлении реагента ниже давления в трубопроводе: автореф. дис. … канд. техн. наук. Краснодар, 2012. 22 с. – URL: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01005484037.pdf (дата обращения 20.09.2022).

14. Михальченкова А.Н. Влияние конструктивных и режимных параметров работы вихревого аппарата на процесс эжекции жидких сред: автореф. дис. … канд. техн. наук. Москва, 2018. 16 с. – URL: https://diss.muctr.ru/media/autorefs/2018/09/Avtoreferat_Mikhalchenkova_A_N.pdf(дата обращения 20.09.2022).

15. Мазилевский И.И. Исследование характеристик газо-газовых бездиффузорных струйных аппаратов: автореф. дис. … канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2016. 23 с. – URL: https://www.smtu. ru/rus/nauka/dissovet/persons/mazylevsky/docs/p2/Avtoreferat.pdf (дата обращения 20.09.2022).

References

1. Prohorenkov V.D., Petrashev A.I. The practice of corrosion protection of agricultural machinery in modern situation *Tehnologija metallov* = Metal technology. 2000; (8):14-20. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=41338370 (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

2. Petrashev A.I., Zazulja A.N., Klepikov V.V. Available preservative for tillage machinery *Sel'skij mehanizator* = Agricultural machine operator. 2019; (2):36-37. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id =41245346 (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

3. Petrashev A.I., Prohorenkov V.D., Klepikov V.V. et al. Experimental regularity of pneumatic spraying of conservation materials *Trudy GOSNITI* = Works of GOSNITI. 2015; (120):59-63. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=24345815 (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

4. Jakovlev A.D., Evstigneev V.G., Gisin P.G. Equipment for obtaining colorful coatings L.: Himija; 1982. 192 p.

5. Petrashev A.I. Flex nozzle for spraying of conservation materials *Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva* = Mechanization and electrification of agriculture. 2004; (1):27-28. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id= 38470516 (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

6. Petrashev A.I. Pneumatic installation for heating and spraying of viscous compounds and mastics in agricultural conditions *Praktika protivokorrozionnoj zashhity* = Anticorrosive protection practice. 2001; 4(22):23-26. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=41338370 (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

7. Vseinstrumenti.ru. Coating guns. Retrieved from https://www.vseinstrumenti.ru/ instrument/pnevmoinstrument/pnevmopistolety/drugie/ (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

8. Dubrovin I., Dubrovin N. This old new inkjet machine. *Gazeta: Jenergetika i promyshlennost' Rossii = Newspaper: Energy and industry of Russia*. 2009;13(129). Retrieved from https://www.eprussia.ru/epr/129/10010.htm (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

9. Ozon.ru. Antikor eurobalon. Retrieved from https://www.ozon.ru/category/ antikor-evroballon / (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

10. Spiridonov E.K., Jakubov G.G., Habarova D.F. Hydraulic jet ejection hydrometer of bulk materials. Workflow and characteristics *Vestnik Juzhno-Ural'skogo GU. Serija «Mashinostroenie»* = Bulletin of the South Ural State University. The series «Mechanical Engineering». 2020; 20(1):47-54. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=42545101 (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

11. Drozdov A.N., Dem'janova JLA. Research of the operation of the jet apparatus at different lengths of the mixing chamber and ejection by a liquid jet of a gas-liquid mixture. *Neftepromyslovoe delo* = Oilfield business, 1994; (6):4-7. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=35232357 (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

12. Pavlenko P.P., Poljakov A.V., Bojko S.I. et al. A method for introducing an inhibitor into a field gas pipeline using a single-layer ejection jet device *Gazovaja promyshlennost' = Gas industry*, 2012; 6(677):44-46. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=17804031 (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

13. Poljakov A.V. Research and development of devices for supplying reagent to the pipeline at a reagent pressure below the pressure in the pipeline: dis. abstract… cand. of tech. scien.. Krasnodar, 2012. 22 p. Available at: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01005484037.pdf (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

14. Mihal'chenkova A.N. Influence of design and operating parameters of the vortex apparatus on the process of ejection of liquid media: dis. abstract… cand. of tech. scien.. Moskva, 2018. 16 p. Available at: https://diss.muctr.ru/media/autorefs/2018/09/Avtoreferat_Mikhalchenkova_A_N.pdf (accessed 20.09.2022). (In Russ.)

15. Mazilevskij I.I. Research of characteristics of gas-gas diffusorless jet devices: dis. abstract… cand. of tech. scien. Sankt-Peterburg, 2016. 23 p. Available at: https://www.smtu.ru/rus/nauka/dissovet/persons/mazylevsky/docs/p2/Avtoreferat.pdf (accessed 20.09.2022). (In Russ.).

Информация об авторах

А.И. Петрашев - доктор технических наук; В.В. Клепиков - кандидат технических наук.

Information about the authors

A. Petrashev - Doctor of Technical Sciences; V. Klepikov - Candidate of Technical Sciences.

Вклад авторов: А.И. Петрашев – обзор литературы, формулировка цели и выводов, анализ результатов исследований; В.В. Клепиков – проведение экспериментальных исследований, обработка полученных результатов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

A. Petrashev – literature review, formulation of the goal and conclusions, analysis of research results; V. Klepikov – conducting experimental studies, processing the results.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 22.09.2022 Принята к публикации (Accepted): 13.10.2022