

Исследование и разработка пневматического пистолета для распыления порошка в хирургии

© К.Е. Демихов¹, А.А. Очков¹, В.И. Демьяненко¹, М.В. Ситников²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

²РТУ МИРЭА, Москва, 119454, Россия

Проведен сравнительный анализ современных устройств для распыления порошка. Представлен сконструированный пневматический распылитель порошка с возможностью регулирования скорости подачи материала. Распылитель предназначен для использования в хирургической сфере, применение его способствует заживлению ран с повышенной регенерацией мягких тканей после хирургического вмешательства. Для распылителя, рассмотренного как система пневмотранспорта сыпучих материалов, рассчитаны основные характеристики, разработан чертеж, построена 3D-модель. Исследовано течение газа в рабочем объеме пневматического распылителя, приведена зависимость распределения давлений в этом объеме устройства.

Ключевые слова: пневматический распылитель, пневмотранспорт, течение газа, газодинамика

Введение. В настоящее время медицина играет значимую роль в развитии и социально-экономическом состоянии любого государства. Без полноценной и качественной медицины невозможно достигнуть значительной продолжительности жизни, хорошего состояния здоровья человека и разрешить множество других проблем. Именно по этой причине то, что способствует развитию медицины, является актуальным для любой страны. Все сферы медицины связаны в той или иной степени с современными технологиями и техническими решениями.

Из множества проблем современной медицинской науки и практики вопрос локальной остановки внутреннего и наружного капиллярного кровотечения до сих пор остается нерешенным. Наиболее часто обсуждаемыми в печати являются проблемы остановки кровотечений из паренхиматозных органов, в частности из органов брюшной полости — печени и селезенки, что связано с их структурно-функциональной организацией и частотой травматизации.

Повреждения печени в структуре травм органов брюшной полости занимают второе место и соответствуют 20...47 % при закрытой травме органов брюшной полости и 57...86 % — при проникающих ранениях. Частота повреждений селезенки варьирует от 15 до 50 % среди всех случаев травм живота. Местные гемостатические средства широко используются как в хирургической практике, так и в быту при оста-

новке незначительных кровотечений из ссадин, порезов, ран и т. д. В связи с этим очень важны разработка новых кровоостанавливающих материалов и оптимизация их гемостатической активности.

В работе [1] представлен эксперимент с применением различных гемостатических материалов для остановки кровотечения, в котором участвовали 14 здоровых доноров-добровольцев. При обработке данных были установлены материалы с наиболее ярко выраженной гемостатической активностью в процессе контроля и определены их другие гемостатические свойства. В результате анализа полученных данных был выбран порошкообразный материал. Но для того чтобы качественно наносить этот материал на органы, подвергающиеся хирургическому вмешательству, необходимо оборудование, которое будет подавать порошок к мягким тканям и оперируемым органам, а также регулировать его расход.

Таким образом, объектом исследования данной работы является пневматическое устройство для распыления порошкообразной смеси, цель работы — исследование рабочих процессов течения газа в объеме пневматического распылителя, разработка его конструкции для применения в хирургической сфере.

Выбор типа распылителя. К распылителю для применения в хирургической сфере предъявляются особые требования. Недопустимо использование устройства, основанного на действии электростатического поля, поскольку это может вызвать удар пациента электрическим током. Также оно не должно быть громоздким и тяжелым.

К наиболее распространенным в настоящее время типам распылителей порошков относятся пневматические пистолеты-распылители, электрораспылители, безвоздушные распылительные агрегаты. По мнению авторов, наиболее надежны, безопасны и удобны пневматические распылители. Кроме того пневматические распылители компактны, поэтому их легко удерживать одной рукой и ими комфортно управлять [2].

Регулировка пневматического распылителя. Регулировать распылитель можно тремя способами: регулировкой факела, регулировкой подачи воздуха, регулировкой подачи материала.

Для распыления порошка в хирургии не требуется регулировки его факела и подачи, поскольку нужно лишь поместить порошок в определенную область тела человека. Следует также отметить, что в представленном распылителе применена специальная насадка, через малое отверстие которой проходит порошок и сразу осаждается на соответствующую поверхность органов, в связи с чем форма факела в данном случае безразлична. Подача материала всегда будет максимальной, ее скорость будет регулироваться подачей сжатого воздуха.

Для регулировки подачи воздуха предусмотрен специальный винт, установленный на задней стороне пистолета, который поджи-

мает пружину, управляющую перемещением рычага для открытия ограничительного клапана подачи воздуха. В результате подача воздуха регулируется путем увеличения силы, требующейся для нажатия рычага. При крайних положениях винта не понадобится для нажатия рычага прикладывать особые усилия.

Расчет основных характеристик пневматического распылителя. Для определения таких основных характеристик пневматического распылителя, как потребляемый расход воздуха и необходимый перепад давлений, исследуемое устройство рассматривается как система пневмотранспорта сыпучих материалов [3–9]. Требуемая производительность питаемого воздуха выбирается из условия обеспечения необходимой скорости распыления материала. Создаваемый перепад давлений определяется следующим образом:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{тр.в}} + \Delta p_{\text{тр.м}} + \Delta p_{\text{разг}} + \Delta p_{\text{н}}, \quad (1)$$

где $\Delta p_{\text{тр.в}}$ — потери на трение воздуха; $\Delta p_{\text{тр.м}}$ — потери на трение материала; $\Delta p_{\text{разг}}$ — потери на разгон; $\Delta p_{\text{н}}$ — потери при движении на вертикальном участке.

Следующим этапом исследования было изучение процесса течения газа в рабочем объеме пневматического распылителя [10]. 3D-модель его подающей трубки в разрезе представлена на рис. 1. Для расчета применялся метод конечных элементов с использованием системы упрощенных уравнений Навье — Стокса. При этом были приняты следующие допущения:

- режим течения газа — вязкостный;
- отсутствуют перетекания воздуха и материала;
- температура рабочего газа постоянная;
- коэффициент аккомодации энергии равен единице.

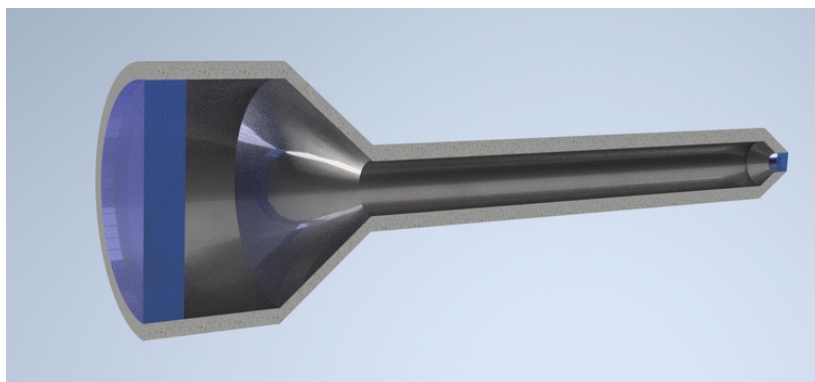


Рис. 1. 3D-модель подающей трубки в разрезе

Исследование процесса течения газа в объеме пневматического распылителя базируется на основных уравнениях, характеризующих рабочий процесс, таких как:

уравнение движения

$$\frac{\partial \rho u}{\partial \tau} + \operatorname{div}(\rho u \vec{u} - \mu \cdot \operatorname{grad}(u)) = -\frac{\partial P}{\partial x} + S_u; \quad (2)$$

уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \operatorname{div}(\rho \vec{u}) = S_\rho; \quad (3)$$

уравнение переноса энергии

$$\frac{\partial \rho h}{\partial \tau} + \operatorname{div}\left(\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 \bar{u}_{ij} \rho_{ij} h_{ij} - [k] \cdot \operatorname{grad}(T)\right) = S_T. \quad (4)$$

При расчете получена зависимость распределения давления (рис. 2) в рабочем объеме распылителя. На рисунке видно, что к концу трубки давление уменьшается: отражается более холодным тоном градиента на картине распределения значений давления. Полученные результаты исследований позволили точнее определить значения основных параметров пневматического распылителя, необходимых для его применения в хирургической сфере.

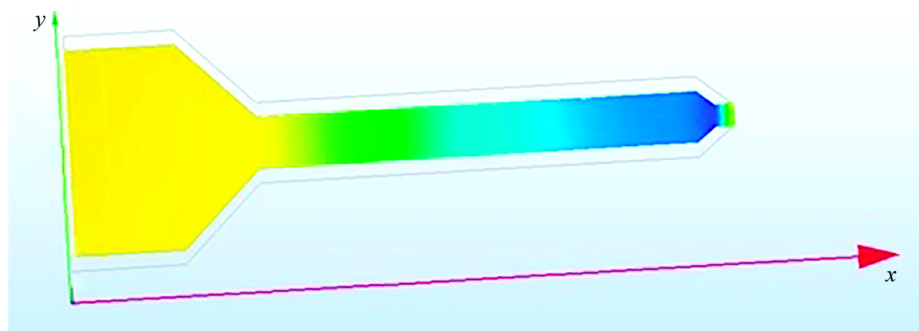


Рис. 2. Распределение давления в рабочем объеме подающей насадки пневматического распылителя

Конструкция пневматического распылителя. В ходе работы был разработан чертеж общего вида пневматического распылителя, который представлен на рис. 3.

Работа устройства происходит следующим образом. Сжатый воздух, подаваемый через магистральный шланг с помощью соединения 4, поступает в регулировочный клапан подачи сжатого воздуха 3.

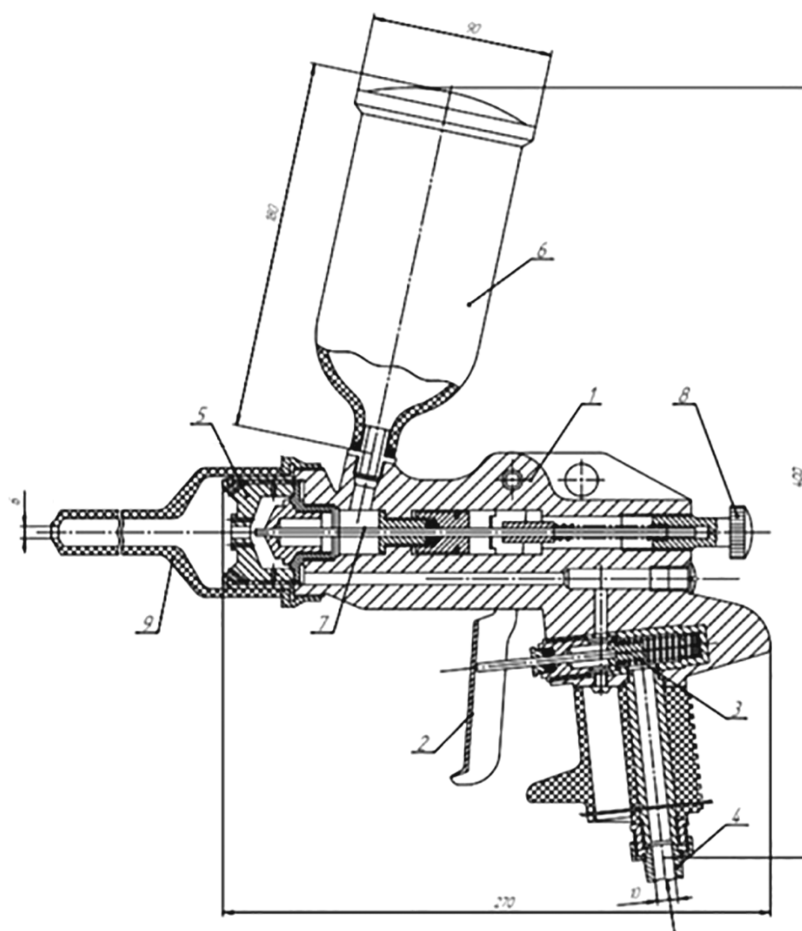


Рис. 3. Схема пневматического распылителя:

1 — корпус пневматического распылителя; 2 — рычаг для регулирования подачи сжатого воздуха; 3 — регулировочный клапан подачи сжатого воздуха; 4 — переходник типа «елочка» для подсоединения к магистральному шлангу; 5 — дюза с соплом диаметром 6 мм; 6 — емкость для наполнения порошкообразной смесью; 7 — игла, закрывающая подачу материала; 8 — винт регулирования подачи сжатого воздуха; 9 — подающая насадка

При нажатии на рычаг 2 коническая насадка передвигается вправо, сжимая пружину и открывая каналы для прохождения сжатого воздуха к дюзе 5. Далее при нажатии рычага 2 игла 7 открывает сопло, через которое вследствие разрежения воздуха вытягивается из емкости 6 порошкообразная смесь, которая, смешиваясь с потоком воздуха, дробится на мелкие частицы. Образующаяся порошкообразная взвесь поступает в подающую насадку 9 и по каналу проходит в области хирургического вмешательства для нанесения порошка. С помощью винта 8 выполняется поджатие пружины, регулирующей нажатие рычага 2.

На рис. 4 представлена 3D-модель рассматриваемого пневматического распылителя. Корпус устройства будет изготовлен из медицинской стали, используемой в хирургической сфере, дюза выполнена из латуни, емкость для порошкообразной смеси — из медицинской пластмассы. Многоразовая насадка длиной 200 мм, надеваемая на головку распылителя, будет сделана из медицинской нержавеющей стали. С помощью такой насадки можно достичь труднодоступных мест с использованием встраиваемых камер, применяемых в хирургической сфере. Емкость для порошка располагается сверху для удобства эксплуатации: такое размещение позволяет полностью израсходовать весь материал и предотвращает его застывание в каналах пневматического распылителя.

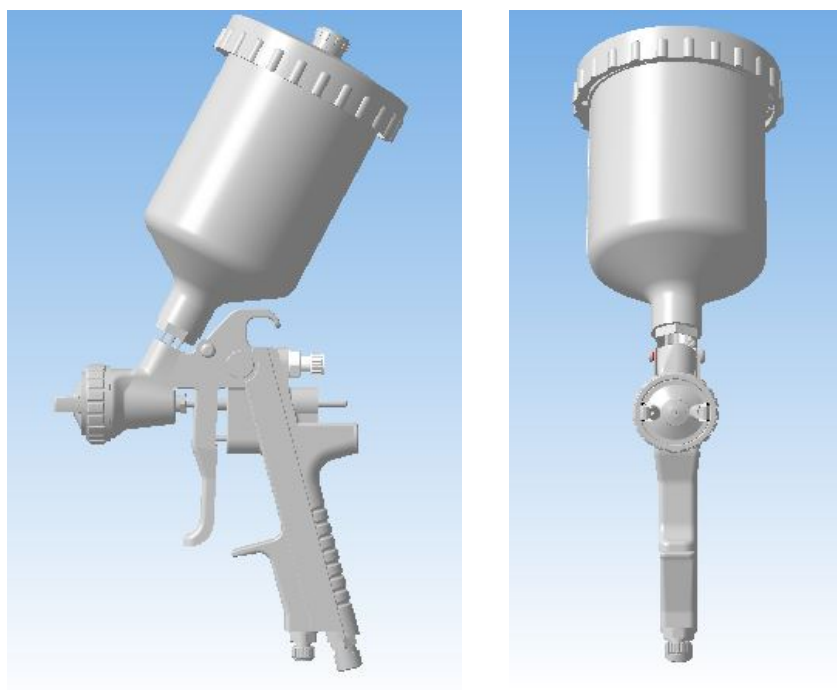


Рис. 4. 3D-модель пневматического распылителя

Заключение. Разработан пневматический распылитель порошка, предназначенный для использования в хирургической сфере, который способствует заживлению ран с повышенной регенерацией мягких тканей после хирургического вмешательства. Созданы конструктивная схема установки для распыления порошка и чертеж пневматического распылителя, наиболее оптимальные для подготовки сжатого воздуха с экономической точки зрения, а также наиболее полно отвечающие требованиям к сжатому воздуху, предъявляемым при использовании в

медицинских целях. Рассчитано качественное распределение давлений в рабочем объеме распылителя, построена его 3D-модель. В настоящее время активно обсуждается задача внедрения разработанного устройства в несколько больниц.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бежин А.И., Майстренко А.Н., Липатов В.А., Чижиков Г.М. Гемостатическая активность новых аппликационных средств на основе карбоксиметилцеллюлозы. *Вестник новых медицинских технологий*, 2011, № 3, с. 152–154.
- [2] Автономова И.В. *Компрессорные станции и установки. Часть 2. Методы очистки на компрессорных станциях*. Москва, Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012, 64 с.
- [3] Брус И.Д., Тураев Н.С. *Расчет установок пневмотранспорта*. Томск, Издательство ТПУ, 2008, 23 с.
- [4] Селезнев К.П., Галеркин Ю.Б., Анисимов С.А., Митрофанов В.П., Подобуев Ю.С. *Теория и расчёт турбокомпрессоров*. Ленинград, Машиностроение, 1986, 392 с.
- [5] Любимов А.Н. *Совершенствование методов расчета газодинамических характеристик проточной части стационарных центробежных компрессоров*. Дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2016. 138 с.
- [6] Дальский А.М. *Технология конструкционных материалов*. Москва, Машиностроение, 2004, 512 с.
- [7] Леонов А.Е. *Насосы гидравлических систем станков и машин*. Москва, Машгиз, 1960, 226 с.
- [8] Кузнецов В.С., Денисов С.В. *Пневмотранспорт деревообрабатывающих предприятий. Внешние пневмотранспортные установки*. Братск, Издательство БрГУ, 2007, 67 с.
- [9] Александров А.Н., Козорис Г.Ф. *Пневмотранспорт и пылеулавливающие сооружения на деревообрабатывающих предприятиях*. Москва, Лесная промышленность, 1988, 248 с.
- [10] Цейтлин А.Б. *Пароструйные вакуумные насосы*. Москва, Энергия, 1965, 400 с.

Статья поступила в редакцию 17.07.2019

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Демихов К.Е., Очков А.А., Демьяненко В.И., Ситников М.В. Исследование и разработка пневматического пистолета для распыления порошка в хирургии. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2019, вып. 7.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2019-7-1905>

Демихов Константин Евгеньевич — д-р техн. наук, профессор, советник при ректорате, заведующий кафедрой «Вакуумная и компрессорная техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов — высоковакуумные механические насосы, немеханические высоковакуумные средства откачки, оптимизация высоковакуумных механических насосов, газодинамика. e-mail: ked@bmstu.ru

Очков Андрей Андреевич — канд. техн. наук, доцент кафедры «Вакуумная и компрессорная техника». Область научных интересов — высоковакуумные меха-

нические насосы, немеханические высоковакуумные средства откачки, оптимизация высоковакуумных механических насосов, газодинамика.
e-mail: aochkov@bmstu.ru

Демьяненко Вячеслав Игоревич — студент кафедры «Вакуумная и компрессорная техника». Область научных интересов — высоковакуумные механические насосы, немеханические высоковакуумные средства откачки, оптимизация высоковакуумных механических насосов, газодинамика.
e-mail: demyanenko.vyacheslav.2016@mail.ru

Ситников Михаил Владиславович — бакалавр МИРЭА. Область научных интересов — компрессорная техника, газодинамика, техносферная безопасность.
e-mail: mikeximik@mail.ru

Research and development of an air gun for dispersion of powder in surgery

© K.E. Demikhov¹, A.A. Ochkov¹, V.I. Demyanenko¹, M.V. Sitnikov²

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

²RTU MIREA, Moscow, 119454, Russia

The comparative analysis of modern devices for powder spraying was carried out. The pneumatic air gun to spray powder was designed. This device is to be used in the surgical sphere promoting healing of wounds with the increased regeneration of soft fabrics after surgical intervention with a possibility of regulation of feed rate of material. The studied spray was considered as a system of pneumotransport of bulks, its main characteristics were calculated, the drawing was developed, and a 3D model was constructed. The current of gas in the operating volume of the pneumatic spray was explored; the dependence of distribution of pressure was given in the operating volume of the considered device.

Keywords: *pneumatic spray, pneumatic conveying, current of gas, gas dynamics*

REFERENCES

- [1] Bezhin A.I., Maistrenko A.N., Lipatov V.A., Chizhikov G.M. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy — Journal of New Medical Technologies*, 2011, no. 3, pp. 152–154.
- [2] Avtonomova I.V. *Kompressornye stantsii i ustanovki. Part 2. Metody ochistki na kompressornykh stantsiyakh* [Compressor stations and installations. Part 2. Cleaning methods at compressor stations]. Moscow, BMSTU Publ., 2012, 64 p.
- [3] Brus I.D., Turaev N.S. *Raschet ustanovok pnevмотransporta* [Calculation of pneumatic conveying installations]. Tomsk, TPU Publ., 2008, 23 p.
- [4] Seleznev K.P., Galerkin Yu.B., Anisimov S.A., Mitrofanov V.P., Podobuev Yu.S. *Teoriya i raschyot turbokompressorov* [Theory and calculation of turbochargers]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1986, 392 p.
- [5] Lyubimov A.N. *Sovershenstvovanie metodov raschyota gazodinamicheskikh kharakteristik protochnoy chasti statsionarnykh tsentrobezhnykh kompressorov*. Dis. ... cand. eng. sc. [Improving the methods for calculating the gas-dynamic characteristics of the flow part of stationary centrifugal compressors. Diss. Cand. of Eng. Sciences]. Saint Petersburg, 2016, 138 p.
- [6] Dalskiy A.M. *Tekhnologiya konstruktsionnykh materialov* [Technology of construction materials]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2004, 512 p.
- [7] Leonov A.E. *Nasosy gidravlicheskikh sistem stankov i mashin* [Pumps of hydraulic systems for machine tools and machines]. Moscow, Mashgiz Publ., 1960, 226 p.
- [8] Kuznecov V.S., Denisov S.V. *Pnevмотransport derevoobrabatyvayushchikh predpriyatiy. Vneshnie pnevмотransportnye ustanovki* [Pnevмотransport of woodworking enterprises. External pneumatic conveying systems]. Bratsk, BSU Publ., 2007, 67 p.
- [9] Aleksandrov A.N., Kozoris G.F. *Pnevмотransport i pyleulavlivayushchie sooruzheniya na derevoobrabatyvayushchikh predpriyatiyakh* [Pnevмотransport and dust removal facilities at woodworking enterprises]. Moscow, Lesnaya promyshlennost Publ., 1988, 248 p.
- [10] Cejtlin A.B. *Parostruynye vakuumnye nasosy* [Steam jet vacuum pumps]. Moscow, Energiya Publ., 1965, 400 p.

Demikhov K.E., Dr. Sc. (Eng.), professor, the adviser at administration, the head of the department “The Vacuum and Compressor Equipment”, Bauman Moscow State Technical University. Area of scientific interests: high-vacuum mechanical pumps, non-mechanical high-vacuum means of pumping, optimization of high-vacuum mechanical pumps, gas dynamics. e-mail: ked@bmstu.ru

Ochkov A.A. Cand. Sc. (Eng.), associate professor, the department “The Vacuum and Compressor Equipment”, Bauman Moscow State Technical University. Area of scientific interests: high-vacuum mechanical pumps, non-mechanical high-vacuum means of pumping, optimization of high-vacuum mechanical pumps, gas dynamics. e-mail: aochkov@bmstu.ru

Demyanenko V.I., a student of the department “The Vacuum and Compressor Equipment”, Bauman Moscow State Technical University. Area of scientific interests: high-vacuum mechanical pumps, non-mechanical high-vacuum means of pumping, optimization of high-vacuum mechanical pumps, gas dynamics. e-mail: demyanenko.vyacheslav.2016@mail.ru

Sitnikov M.V., a bachelor, RTU MIREA. Area of scientific interests: the compressor equipment, gas dynamics, technosphere safety. e-mail: mikeximik@mail.ru