

Студенческий научный электронный журнал

# StudArctic Forum

## 2022. Т. 7, № 2

Главный редактор  
И. М. Суворова

Заместитель главного редактора  
А. А. Малышко

Ответственный секретарь  
П. С. Воронина

Редакционный совет

С. В. Волкова  
М. И. Зайцева  
Г. Н. Колесников  
В. С. Сютёв  
В. А. Шлямин

Редакционная коллегия

А. Ю. Борисов  
Р. В. Воронов  
Т. А. Гаврилов  
Е. О. Графова  
Л. А. Девятникова  
А. А. Ившин  
А. А. Кузьменков  
Е. Н. Лузгина  
Ю. В. Никонова  
М. И. Раковская  
А. А. Скоропадская  
Е. И. Соколова  
И. М. Соломещ  
А. А. Шлямина

Службы поддержки

Е. В. Голубев  
А. А. Малышко

Издатель

ФГБОУ «Петрозаводский государственный университет»  
185910, Россия, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33.

Адрес редакции журнала  
185910, Республика Карелия,  
г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33.  
E-mail: [saf@petrsu.ru](mailto:saf@petrsu.ru)

<https://saf.petrso.ru>

Scientific journal  
**StudArctic Forum**

**2022. Vol. 7, No. 2**

Editor-in-Chief  
Irina M. Suvorova

Deputy Editor-in-Chief  
Anton A. Malyshko

Executive secretary  
Polina S. Voronina

Editorial Council  
Svetlana V. Volkova  
Maria I. Zaitseva  
Gennadiy N. Kolesnikov  
Vladimir S. Syunev  
Valery A. Shlyamin

Editorial Team  
Alexey Yu. Borisov  
Roman V. Voronov  
Timmo A. Gavrilov  
Elena O. Grafova  
Lyudmila A. Devyatnikova  
Alexander A. Ivshin  
Alexander A. Kuzmenkov  
Elena N. Luzgina  
Yulia V. Nikonova  
Marina I. Rakovskaya  
Anna A. Skoropadskaya  
Evgeniya I. Sokolova  
Ilya M. Solomeshch  
Anastasia A. Shlyamina

Support Services  
Evgeniy V. Golubev  
Anton A. Malyshko

Publisher  
© Petrozavodsk State University, 2022

Editorial office address  
Petrozavodsk State University  
33, Lenin Ave., Petrozavodsk,  
185910, Russian Federation  
E-mail: [saf@petsu.ru](mailto:saf@petsu.ru)

<http://saf.petsu.ru>

## Машиностроение

Т. 7, № 2. С. 67—72

Научная статья

УДК 621.5

**КАЛИНОВСКИЙ  
Борис Григорьевич**

бакалавриат, Петрозаводский государственный университет  
(Петрозаводск, Российская Федерация),  
*kalinovskiy.boris@mail.ru*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УВЕЛИЧЕНИЯ НАГРУЗКИ НА ДВИЖЕНИЕ ПНЕВМОЦИЛИНДРА

**Научный руководитель:**

Янюк Юлия Вячеславовна

Статья поступила: 04.05.2022;

Принята к публикации: 06.05.2022;

Размещена в сети: 22.06.2022.

**Аннотация.** В статье представлены результаты эксперимента по исследованию влияния нагрузки на скорость движения штока пневмоцилиндра. Для изучения работы пневмоцилиндра использовался лабораторный стенд и прилагаемый набор грузов. Результатом исследования стало предложение использовать новый коэффициент, позволяющий определить максимальную нагрузку, с которой возможна работа без неравномерности хода и вибрации на минимально допустимой скорости. Сделан вывод о необходимости проведения дополнительных измерений с целью уточнения введённого коэффициента.

**Ключевые слова:** пневмоцилиндр, дроссельное регулирование, исполнительный механизм, нагрузка

Для цитирования: Калиновский Б. Г. Исследование влияния увеличения нагрузки на движение пневмоцилиндра // StudArctic Forum. 2022. Т. 7, № 2. С. 67—72.

Пневмодвигатель – это исполнительный механизм в пневматической системе, видоизменяющий энергию сжатого воздуха в механическую работу. Если пневмодвигатель осуществляет возвратно-поступательный ход поршня, он называется пневмоцилиндром. Пневмоцилиндры делятся условно на транспортирующие и зажимные. Транспортирующие обладают большей длиной хода и являются основой движения различных устройств перемещения. Зажимные составляют часть силового привода зажимных, фиксирующих, переключающих устройств. Отдельно можно отметить ударные приводы, используемые в штамповочных, прошивочных, маркировочных, чеканочных и других устройствах с ударным действием. В целом, силовые возможности пневматических цилиндров применяют в машиностроении, приборостроении, металлообработке, литейно-сварочном производстве и иных отраслях, использующих пневматические системы управления.

Одним из наиболее часто встречающихся в современном производстве технологических процессов является процесс сортировки изделий по различным признакам, в котором, в свою очередь, применяются автоматизированные системы перемещения грузов, использующие в качестве исполнительных устройств пневмоцилиндры разнообразного технического исполнения. Очевидно, что если предприятие занимается выпуском разнообразной продукции, например, в пищевой индустрии, то при сортировке готовой продукции одна и та же автоматизированная линия может использоваться для перемещения совершенно разных по массе упаковок. Нагрузка на исполнительные механизмы в этом случае должна быть рассчитана и не должна превышать ограничений, оговорённых в технических условиях.

Была поставлена задача найти ответ на вопрос: возможно ли увеличение нагрузки на технологической линии, например, при перестройке производства на другой ассортимент с увеличением его массы, и на сколько можно увеличить нагрузку на шток пневмоцилиндра без потери равномерности хода?

Известно, что максимальная масса объекта, который может переместить

пневмоцилиндр, зависит от рабочего давления этого пневмоцилиндра и диаметра рабочей поверхности. Для регулировки скорости используют дроссели. Возможны две разные схемы расположения дросселей с обратным клапаном при регулировании скорости хода штока пневмоцилиндра:

регулирование расхода при подаче воздуха в цилиндр (при этом расход воздуха на сброс не ограничивается);

регулирование расхода при сбросе воздуха из цилиндра (при этом расход воздуха на подачу не ограничивается).

Тем не менее, масса объекта, с которым взаимодействует пневмоцилиндр, также оказывает влияние на скорость движения штока, что необходимо учитывать, например, если она критически влияет на общую продолжительность технологического процесса. На данный момент проблема влияния нагрузки на скорость решается путем обеспечения такой мощности, что скорость будет постоянной при работе с заранее определенным диапазоном нагрузок, а та мощность, которая выходит за данный диапазон, считают не рекомендуемой величиной.

Наиболее распространенной скоростью штока является диапазон 0.33-0.41 м/с, а минимально допустимым является 0.08-0.1 м/с, при меньшей скорости могут возникнуть неравномерность хода и вибрация.

Определение силы пневмоцилиндра осуществляется по формуле [Алексеев : 35]:  $F=P \times S$  где:  $P$  – давление;  $S$  – площадь поперечного сечения цилиндра.

Данная формула позволяет определить, с какой нагрузкой может работать пневмоцилиндр на указанной скорости при постоянном давлении.

Очевидно, что при превышении нагрузки шток будет выдвигаться медленнее, но всё равно продолжит движение. Возникает вопрос: насколько можно превысить нагрузку, рассчитанную по формуле, так чтобы скорость не опустилась ниже минимально допустимой.

Предлагается ввести в формулу повышающий коэффициент:  $F_{max}=P \times S \times \mu$

где:  $P$  – давление;  $S$  – площадь поперечного сечения цилиндра;  $\mu$  – повышающий коэффициент.

Таким образом, необходимо провести ряд испытаний и наблюдений для определения повышающего коэффициента и максимально возможной нагрузки, с которой может работать пневмоцилиндр без неравномерности хода и вибраций.

Исследование проводилось на лабораторном пневматическом стенде СПУ-УН-13-26ЛР-01. Были собраны и испытаны три схемы, представленные на рисунках 1 – 3, с различными вариантами установки дросселей, используемых для регулирования скорости.

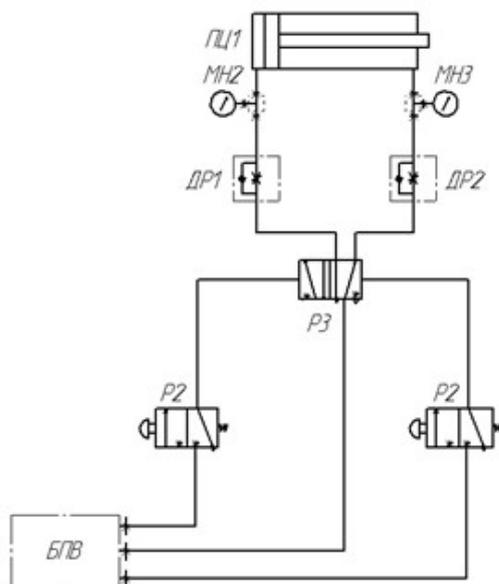


Рис. 1. Дроссельное регулирование скорости пневмопривода установкой дросселей в линиях нагнетания и выхлопа

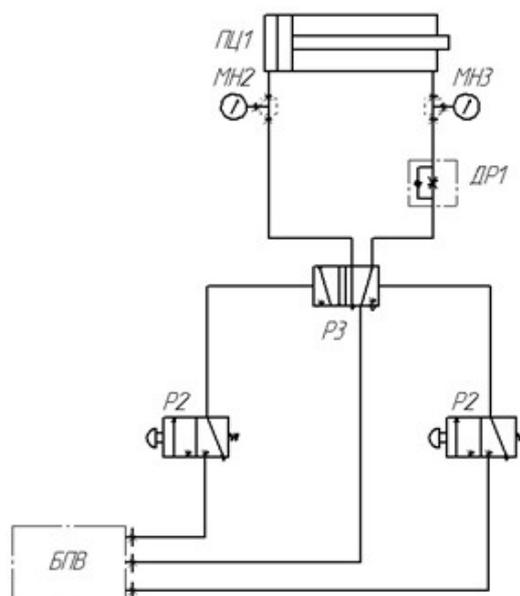


Рис. 2. Дроссельное регулирование скорости выдвижения штока пневмопривода установкой дросселя в линии выхлопа

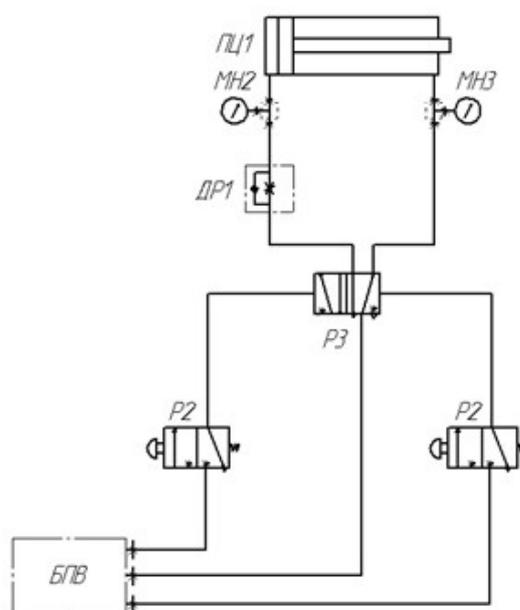


Рис. 3. Дроссельное регулирование скорости выдвижения штока пневмопривода установкой дросселя в линии нагнетания

По каждой схеме были проведены следующие виды измерений: многократные равноточные измерения времени полного выдвижения штока пневмоцилиндра (средство измерения – секундомер); однократное измерение расстояния, преодолеваемого штоком (средство измерения – линейка). Расстояние было решено измерить однократно, так как шток выдвигается всегда до своего конечного положения, оно не меняется, и в процессе работы измерить его технически не представляется возможным ввиду очень быстрого движения (см. значения скоростей). Результаты измерений обработаны стандартным методом по ГОСТ Р 8.736-2011 [Ткалич: 46].

Результаты измерений и расчётные данные представлены в таблице 1:

## Результаты обработки экспериментальных данных

Наименование физической величины	<b>Схема 1.</b> Дроссельное регулирование скорости пневмопривода установкой дросселей в линиях	
	Без груза	С грузом 1 кг
Время нагнетания $t$ , сек	$2,15 \pm 0,15$	$2,43 \pm 0,11$
Время выхлопа $t$ , сек	$2,17 \pm 0,25$	$1,77 \pm 0,12$
Скорость штока при нагнетании $v$ , м/с	$0,072 \pm 0,005$	$0,064 \pm 0,003$
Скорость штока при выхлопе $v$ , м/с	$0,072 \pm 0,008$	$0,0846 \pm 0,0024$
Наименование физической величины	<b>Схема 2.</b> Дроссельное регулирование скорости выдвижения штока пневмопривода установкой дросселя в линии выхлопа	
	Без груза	С грузом 1 кг
Время нагнетания $t$ , сек	$0,18 \pm 0,08$	$0,53 \pm 0,04$
Время выхлопа $t$ , сек	$2,17 \pm 0,25$	$1,77 \pm 0,12$
Скорость штока при нагнетании $v$ , м/с	$0,691 \pm 0,108$	$0,3 \pm 0,06$
Скорость штока при выхлопе $v$ , м/с	$0,071 \pm 0,008$	$0,085 \pm 0,0024$
Наименование физической величины	<b>Схема 3.</b> Дроссельное регулирование скорости выдвижения штока пневмопривода установкой дросселя в линии нагнетания	
	Без груза	С грузом 1 кг
Время нагнетания $t$ , сек	$2,15 \pm 0,15$	$2,43 \pm 0,11$
Время выхлопа $t$ , сек	$0,39 \pm 0,14$	$0,312 \pm 0,107$
Скорость штока при нагнетании $v$ , м/с	$0,072 \pm 0,005$	$0,064 \pm 0,003$
Скорость штока при выхлопе $v$ , м/с	$0,41 \pm 0,17$	$0,52 \pm 0,24$

Результаты экспериментов представлены также на графиках (рисунки 4 – 6):

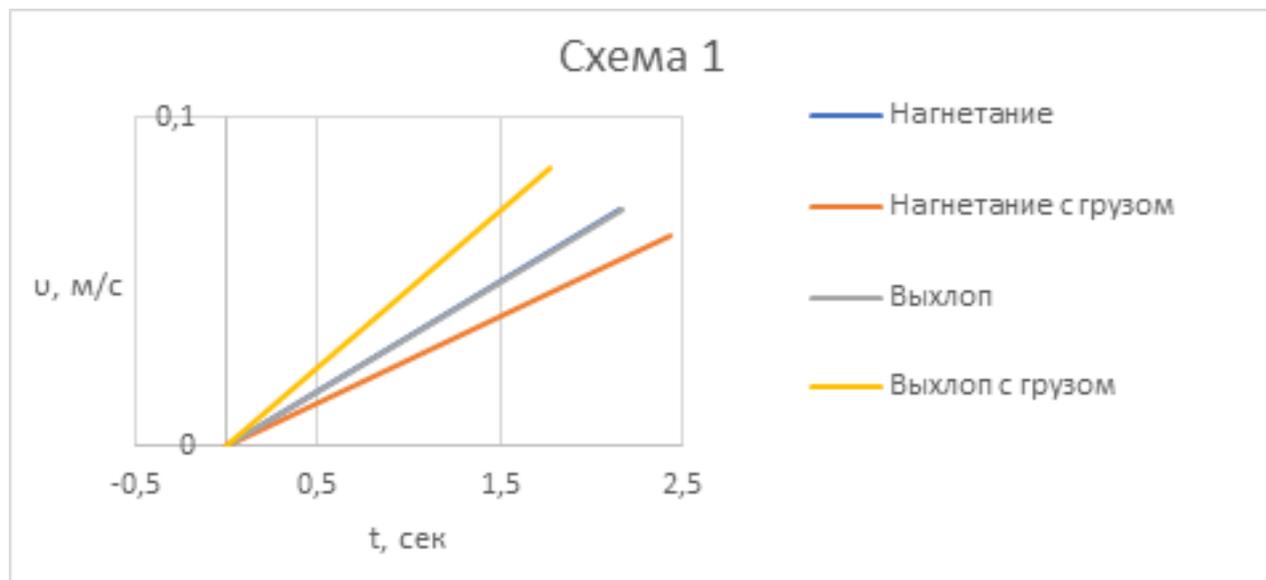


Рис. 4. Изменение скорости выдвижения штока пневмоцилиндра при дроссельном регулировании в линиях нагнетания и выхлопа

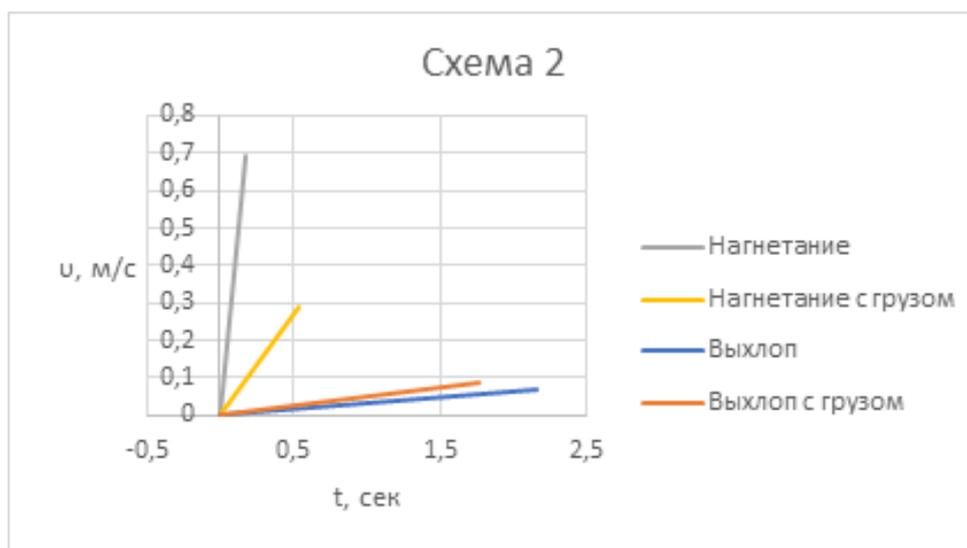


Рис. 5. Изменение скорости выдвигания штока пневмоцилиндра при дроссельном регулировании в линии выхлопа

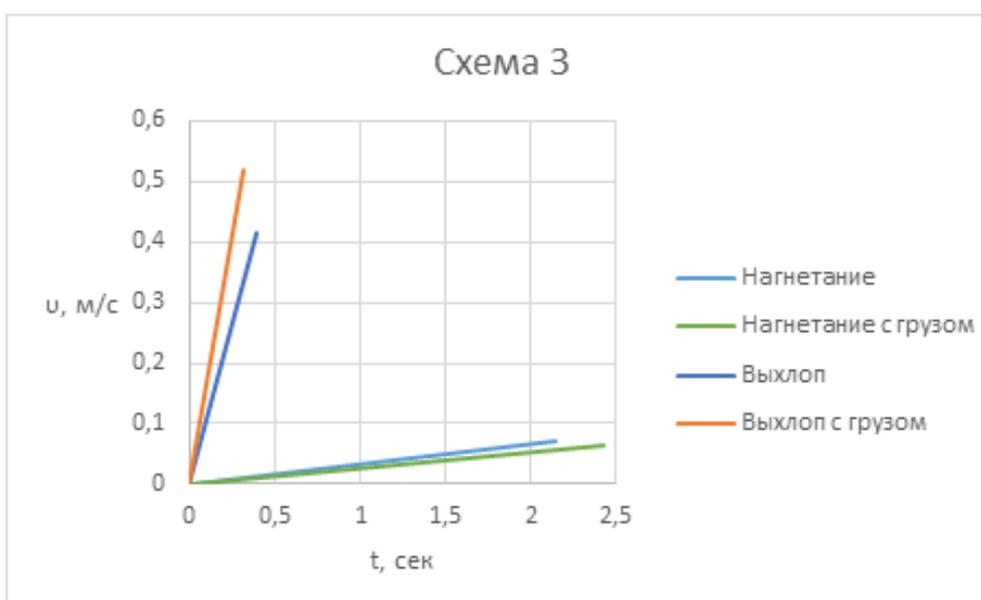


Рис. 6. Изменение скорости выдвигания штока пневмоцилиндра при дроссельном регулировании в линии нагнетания

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы: при сохранении постоянного давления добавление массы привело к падению скорости выдвигания штока на 58% при регулировании в линии нагнетания, на 20,38% при регулировании в линии выхлопа от рабочей скорости пневмоцилиндра, но при этом скорость не опустилась ниже минимально необходимой.

Следовательно, можно сказать, что при рекомендуемой техническими характеристиками данного оборудования нагрузке в 0,31 кг пневмоцилиндр смог справиться с нагрузкой в 1 кг, и при этом его скорость не опустилась ниже допустимой.

Важно отметить, что проведенное исследование не следует считать окончательным для вывода точного повышающего коэффициента, так как необходимо понять, каков интервал изменения нагрузки, и особенно важно знать максимальное её значение до потери способности штока к выдвиганию.

Автором также не проводились прочностные расчёты, то есть влияние повышенных нагрузок на долговечность работы пневмоцилиндра, а также не рассматривался экономический аспект, связанный с одной стороны с возможным уменьшением срока службы

оборудования, но, с другой стороны, - возможностью его использования в условиях быстро меняющейся конъюнктуры и перенастройки технологических процессов. Эти вопросы будут целью дальнейших научных и экспериментальных исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Алексеев В. В., Маклаков Л. И.* Курс общей физики : учеб. пособие. В 2-х томах. Т. 1. Механика. Электродинамика. Колебания и волны. Казань: изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2013. 126 с.

Всероссийский инженерный портал. Новости приводной техники и промышленной автоматизации [сайт]. URL: <http://privod.news>. (дата обращения: 04.05.2022).

*Прокопов М. Г.* Конструкции элементов пневмоагрегатов: учеб. пособие. Сумы: Сумский государственный университет, 2015. 148 с.

*Ткалич В. Л., Лабковская Р. Я.* Обработка результатов технических измерений : учебное пособие. Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2011. 72 с.

#### Engineering

Original article

**Boris G. KALINOVSKIY**

bachelor's degree, Petrozavodsk State University  
(Petrozavodsk, Russian Federation),  
[kalinovskiy.boris@mail.ru](mailto:kalinovskiy.boris@mail.ru)

#### INVESTIGATION OF THE EFFECT OF INCREASING THE LOAD ON THE MOVEMENT OF THE PNEUMATIC CYLINDER

**Scientific adviser:**

Julia V. Janyuk

Paper submitted on: 05/04/2022;

Accepted on: 05/06/2022;

Published online on: 06/22/2022.

**Abstract.** The article presents the results of an experiment to study the effect of load on the speed of the pneumatic cylinder rod. To study the operation of the pneumatic cylinder, a laboratory stand and the attached set of weights were used. The result of the study was a proposal to use a new coefficient to determine the maximum load with which it is possible to work without uneven travel and vibration at the minimum allowable speed, and also concluded that additional measurements are necessary to clarify the introduced coefficient.

**Keywords:** pneumatic cylinder, throttle control, actuator, load

**For citation:** Kalinovskiy B. G. Investigation of the effect of increasing the load on the movement of the pneumatic cylinder. *StudArctic Forum*. 2022; 7(2): 67—72.

#### REFERENCES

*Alekseev V. V., Maklakov L. I.* Course of general physics : textbook. stipend. In 2 volumes. Vol. 1. Mechanics. Electrodynamics. Vibrations and waves. Kazan: publishing house of Kazan State Architect.- builds. un-ta, 2013. 126 p.

All-Russian Engineering portal. News of drive technology and industrial automation [website]. URL: <http://privod.news>. (date of reference: 04.05.2022).

*Prokopov M. G.* Designs of elements of pneumatic units: textbook. stipend. Sumy: Sumy State University, 2015. 148 p.

*Tkalich V. L., Labkovskaya R. Ya.* Processing of the results of technical measurements : a textbook. St. Petersburg: St. Petersburg State University ITMO, 2011. 72 p.