



## ANALYSIS OF THE STABILITY OF FIRE HOSES UNDER INFLUENCE OF VACUUM IN RESIDUAL WATER RETURN SYSTEMS

Makhkamov Nurmukhammad Yangiboevich  
Sadirov Azizbek Tairbek ogli

Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of  
Uzbekistan

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20178287>

### ARTICLE INFO

Received: 07<sup>th</sup> May 2026

Accepted: 13<sup>th</sup> May 2026

Online: 14<sup>th</sup> May 2026

### KEYWORDS

Fire hose, vacuum, hose collapse, residual water, hose line stability.

### ABSTRACT

*The article examines the problem of fire hose deformation under negative pressure in the residual fire extinguishing agent return systems. It has been shown that when creating a vacuum inside the sleeve line, the sleeve can flatten due to atmospheric pressure. Analysis of the conditions for sleeve collapse occurrence was conducted, and permissible vacuum values were determined. The criterion for the stability of the sleeve line during water return has been proposed. The research results can be used in the development of wastewater return systems in fire trucks.*

## АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВАКУУМА В СИСТЕМАХ ВОЗВРАТА ОСТАТОЧНОЙ ВОДЫ

Махкамов Нурмухаммад Янгибоевич  
Садиров Азизбек Таирбек угли

Академия МЧС Республики Узбекистан

e-mail: [azamafia7@gmail.com](mailto:azamafia7@gmail.com)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20178287>

### ARTICLE INFO

Received: 07<sup>th</sup> May 2026

Accepted: 13<sup>th</sup> May 2026

Online: 14<sup>th</sup> May 2026

### KEYWORDS

пожарный рукав,  
вакуум, коллапс рукава,  
остаточная вода,  
устойчивость рукавной  
линии.

### ABSTRACT

*В статье рассмотрена проблема деформации пожарных рукавов при воздействии отрицательного давления в системах возврата остаточного огнетушащего вещества. Показано, что при создании разрежения внутри рукавной линии возможно сплющивание рукава вследствие воздействия атмосферного давления. Проведён анализ условий возникновения коллапса рукава и определены допустимые значения вакуума. Предложен критерий устойчивости рукавной линии при возврате воды. Результаты исследования могут быть использованы при разработке систем возврата остаточной воды в пожарных автоцистернах.*



**Введение.** Пожарные рукавные линии являются основным элементом подачи огнетушащего вещества при тушении пожаров. Конструкция пожарных рукавов рассчитана преимущественно на работу под внутренним давлением. Однако при разработке систем возврата остаточной воды из рукавных линий возникает необходимость создания разрежения внутри рукава.

Воздействие вакуума может привести к деформации стенок рукава и его частичному или полному сплющиванию. Это явление снижает пропускную способность рукавной линии и может привести к повреждению оборудования.

В связи с этим возникает необходимость оценки устойчивости пожарных рукавов при воздействии отрицательного давления.

Целью настоящей работы является анализ условий возникновения сплющивания пожарных рукавов и определение допустимых параметров вакуума при возврате остаточной воды.

### **Физическая природа сплющивания рукава**

При создании вакуума внутри рукава возникает разность давлений между внешней и внутренней средой.

Атмосферное давление:

$$P_{\text{атм}} \approx 0,101 \text{ МПа}$$

Если внутри рукава создаётся разрежение  $\Delta_p$ , то на стенки рукава действует давление:

$$P = P_{\text{атм}} - P_{\text{внутр}}$$

Эта сила вызывает сжатие гибкой оболочки рукава.

Пожарные рукава изготовлены из текстильных материалов с эластичной внутренней гидроизоляцией. При превышении критического давления происходит потеря круглой формы и сплющивание рукава.

### **Расчёт объёма воды в рукавной линии**

Объём воды в рукаве определяется выражением:

Объём воды в одном напорном рукаве длиной  $L$  и внутренним диаметром  $d$  определяется выражением:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} L$$

где

$d$  — внутренний диаметр рукава,  
 $L$  — длина рукава.

Для рукава диаметром 66 мм и длиной 20 м:

$$V = \frac{\pi(0,066)^2}{4} \cdot 20 \approx 0,068 \text{ м}^3$$

или около **68 литров воды**

При использовании нескольких рукавов объём остаточной воды может достигать 300–400 л.

### **Условие устойчивости рукава**

Для оценки устойчивости рукавной линии введём коэффициент устойчивости:

$$K_{\text{уст}} = \frac{P_{\text{кр}}}{\Delta_p}$$

где

$P_{\text{кр}}$  — критическое давление сплющивания рукава,  
 $\Delta_p$  — создаваемое разрежение.



Если  $K_{уст} > 1$   
рукав сохраняет устойчивую форму.

Если  $K_{уст} < 1$   
возможна деформация и коллапс рукава.

Эксплуатационная практика показывает, что безопасное значение вакуума составляет:

$$\Delta_p = 0,3 - 0,5 \text{ МПа}$$

При таких значениях большинство пожарных рукавов сохраняют устойчивость.

**Инженерный расчёт критического вакуума для пожарного рукава.**

Критический вакуум — это разрежение, при котором рукав теряет круглую форму и сплющивается.

Это происходит, когда:

$$\Delta_p \geq P_{кр}$$

где

$\Delta_p$  — вакуум (разность давлений)

$P_{кр}$  — критическое давление коллапса рукава

**Модель рукава**

Пожарный рукав можно рассматривать как тонкую цилиндрическую оболочку.

Критическое давление для оболочки определяется формулой:

$$P_{кр} = \frac{2Eh^3}{(1-\nu^2)R^3}$$

где

$E$  — модуль упругости материала

$h$  — толщина стенки

$\nu$  — коэффициент Пуассона

$R$  — радиус рукава

**Примем реальные параметры рукава**

Для пожарного рукава  $\varnothing 66$  мм радиус

$$R = 0,033 \text{ м}$$

толщина стенки

$$h \approx 0,002 \text{ м}$$

модуль упругости резинотканевого материала

$$E \approx 5 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

коэффициент Пуассона

$$\nu \approx 0,3$$

**Подставим значения**

$$P_{кр} = \frac{10^8 \cdot 8 \cdot 10^{-9}}{3,28 \cdot 10^5} = \frac{0,8}{3,28 \cdot 10^5} \approx 24400 \text{ Па} \approx 24 \text{ кПа} \approx 0,024 \text{ МПа}$$

**Если вакуум превышает**

$$\Delta_p > 0,024 \text{ МПа}$$

рукав может начать сплющиваться.

**Безопасный вакуум**

Инженерно принимают запас:

$$\Delta_{рбез} = 0,5 P_{кр} = 0,5 \cdot 0,024 \approx 0,012 \text{ МПа}$$

$$\Delta_{рбез} \approx 0,012 \text{ МПа}$$

или  $\approx 12$  кПа

**Но есть важный нюанс, если рукав заполнен водой, его устойчивость резко возрастает.**

Поэтому на практике допустимый вакуум:

$$0,03 - 0,05 \text{ МПа}$$

**Очень важный результат для статьи**

Критическое давление сплющивания рукава диаметром 66 мм составляет около **0.024 МПа**, однако при наличии воды внутри рукавной линии устойчивость конструкции существенно возрастает.



Значит мы можем ввести критерий устойчивости рукава:

$$K_{уст} = \frac{P_{кр}}{\Delta p}$$

если

$$K_{уст} > 1$$

рукав устойчив.

**Условия возникновения сплющивания**

Сплющивание рукава наиболее вероятно в следующих случаях:

- отсутствие воды внутри рукава;
- наличие перегибов и изгибов;
- высокая степень износа материала;
- быстрое создание вакуума.

При наличии воды внутри рукава его стенки дополнительно поддерживаются гидростатическим давлением.

Оценка критического вакуума для пожарных рукавов (модель тонкой цилиндрической оболочки)

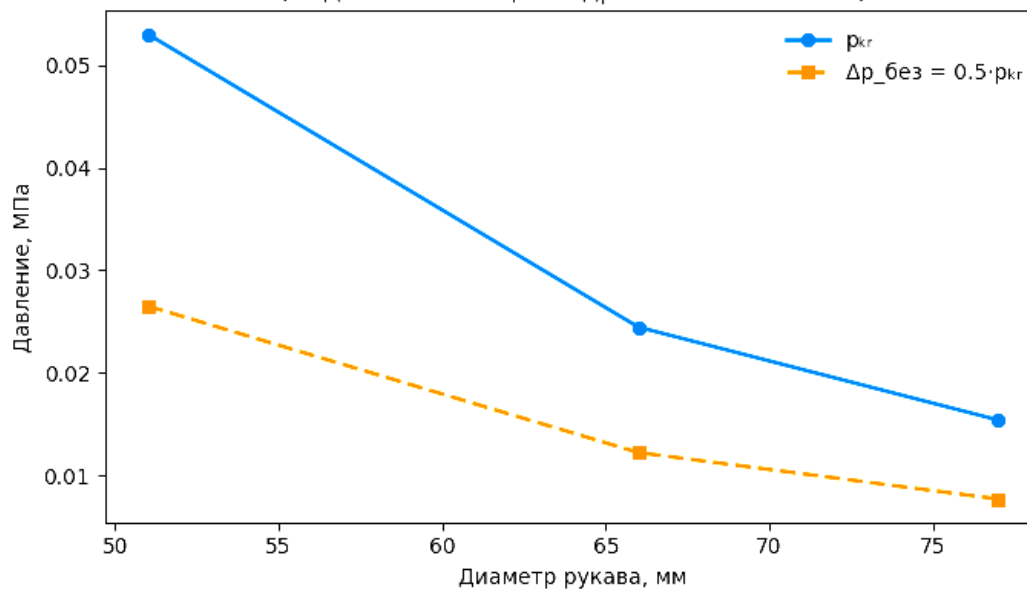


Рисунок 1 — Зависимость критического давления коллапса  $p_{кр}$  и безопасного вакуума  $\Delta p_{без} = 0,5 \cdot p_{кр}$  от диаметра пожарного рукава

**Способы предотвращения деформации рукавов**

Для обеспечения безопасной работы систем возврата воды предлагаются следующие меры:

- Ограничение максимального вакуума в системе.
- Использование предохранительных вакуумных клапанов.
- Применение импульсного режима возврата воды.

➤ Контроль состояния рукавов перед использованием.

Введение данных мер позволяет обеспечить безопасную эксплуатацию рукавных линий.

**Практические рекомендации**

1. При разработке систем возврата остаточной воды из рукавных линий следует ограничивать создаваемое разрежение в системе значением, не превышающим безопасный уровень вакуума:

$$\Delta p_{без} \leq 0,01-0,02 \text{ МПа}$$

Данное ограничение позволяет предотвратить потерю устойчивости пожарных рукавов и их сплющивание.



2. Для обеспечения безопасной эксплуатации систем вакуумного возврата рекомендуется применять предохранительные вакуумные клапаны, ограничивающие максимальное разрежение в рукавной линии.

3. В системах возврата остаточной воды целесообразно применять плавный (ступенчатый) режим вакуумирования, обеспечивающий постепенное перемещение воды по рукавной линии и снижение вероятности возникновения локального коллапса рукава.

4. Перед использованием режима вакуумного возврата необходимо учитывать техническое состояние пожарных рукавов, так как изношенные или повреждённые рукава обладают меньшей устойчивостью к воздействию отрицательного давления.

5. Полученные расчётные зависимости могут быть использованы при разработке новых конструкций пожарных автоцистерн и модернизации существующих систем пожаротушения для повышения коэффициента использования водозапаса.

## Выводы

1. Пожарные рукава чувствительны к воздействию отрицательного давления.

2. Основной причиной сплющивания является разность между атмосферным и внутренним давлением.

3. Безопасный диапазон вакуума при возврате воды составляет 0.03–0.05 МПа.

4. Введён коэффициент устойчивости рукавной линии, позволяющий оценивать условия её деформации.

5. Полученные результаты могут быть использованы при разработке систем возврата остаточной воды в пожарных автоцистернах.

6. Показано, что при возврате воды из рукавной линии методом вакуумирования существует риск потери устойчивости пожарного рукава и его сплющивания вследствие внешнего атмосферного давления.

7. Для оценки предельных режимов предложено использовать модель пожарного рукава как тонкой цилиндрической оболочки. Получено выражение для критического давления коллапса:

$$P_{кр} = \frac{2Eh^3}{(1-\nu^2)R^3}$$

8. Для типового напорного рукава диаметром 66 мм при принятых параметрах материала и геометрии ( $R=0,033$  м;  $h \approx 0,002$  м;  $E \approx 5 \cdot 10^7$  Па;  $\nu \approx 0,3$ ) рассчитано критическое давление сплющивания:

$$P_{кр} \approx 2,44 \cdot 10^4 \text{ Па} \approx 0,024 \text{ МПа}$$

9. Установлено, что создание разрежения  $\Delta p > p_{кр}$  может привести к началу деформации рукава в участках с наличием воздуха, перегибов и недостаточной опоры стенок. Для обеспечения эксплуатационного запаса рекомендуется ограничивать вакуум значением:

$$\Delta p_{без} \leq 0,5 \cdot p_{кр} \approx 0,012 \text{ МПа}$$

10. Отмечено, что наличие воды внутри рукавной линии повышает устойчивость рукава за счёт гидростатической «подпорки» стенок, поэтому допустимый



эксплуатационный диапазон вакуума при контролируемом режиме возврата может быть расширен, однако требует экспериментального подтверждения (с учётом износа рукавов, перегибов и двухфазного режима «вода-воздух»).

11. Для инженерной оценки предложен критерий устойчивости рукавной линии при вакуумировании:

$$K_{уст} = \frac{P_{кр}}{\Delta p}$$

при  $K_{уст} > 1$  сохраняется устойчивое сечение рукава, при  $K_{уст} \leq 1$  возрастает вероятность локального коллапса.

Полученные зависимости могут быть использованы при проектировании систем возврата остаточной воды для выбора ограничений по вакууму, внедрения предохранительного вакуумного клапана и разработки алгоритма «МЯГКОГО» возврата, обеспечивающего предотвращение сплющивания рукавных линий.

## References:

1. Drysdale D. An Introduction to Fire Dynamics. – 3rd ed. – Chichester: John Wiley & Sons, 2011. – 551 p.
2. Cote A.E. Fire Protection Handbook. – 20th ed. – Quincy: National Fire Protection Association (NFPA), 2008. – 3412 p.
3. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. – 5th ed. – New York: Springer, 2016. – 3493 p.
4. Karlsson B., Quintiere J. Enclosure Fire Dynamics. – Boca Raton: CRC Press, 2000. – 336 p.
5. White F.M. Fluid Mechanics. – 8th ed. – New York: McGraw-Hill Education, 2016. – 864 p.
6. Fox R.W., McDonald A.T., Pritchard P.J. Introduction to Fluid Mechanics. – 9th ed. – New York: Wiley, 2016. – 896 p.
7. NFPA 1901. Standard for Automotive Fire Apparatus. – Quincy: National Fire Protection Association, 2022.
8. NFPA 1961. Standard on Fire Hose. – Quincy: National Fire Protection Association, 2020.
9. Grimwood P., Sanderson I. A performance-based approach to defining and calculating adequate firefighting water using design guide BS PD 7974:5:2014. *Fire Safety Journal*, 2015, Vol. 78, pp. 155–167.
10. Maxkamov.N., Sadirov A., Analysis of limitations, uncertainties and drawbacks of residual water return systems from fire hose lines. *Eureka Open Access Journals (EOAJ)*, april 2026, Vol. 2, pp.103-108.
11. Махкамов Н.Я., Садиров А.Т., Проблема остаточного водного ресурса пожарных автоцистерн и пути повышения коэффициента его использования. *Global Challenges of the 21st Century: Interdisciplinary Research and Innovative Solutions. International Scientific and practical conference. March 2026.*, pp. 428-435
12. Kaufman M.M., Rosencrants T. GIS method for characterizing fire flow capacity. *Fire Safety Journal*, 2015, Vol. 72, pp. 25–32.



13. Svensson S. A study of tactical patterns during fire fighting operations. *Fire Safety Journal*, 2002, Vol. 37, No. 7, pp. 673–695.
14. Молчадский И.С., Терехнев В.В. Пожарная техника. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 432 с.
15. Терехнев В.В. Пожарные автомобили. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2006. – 365 с.
16. Кузнецов А.А., Терехнев В.В. Пожарные насосы и насосные установки. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2010. – 280 с.
17. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – Москва: Машиностроение, 1992. – 672 с.
18. Чугаев Р.Р. Гидравлика. – Москва: Энергия, 1982. – 672 с.
19. Терехнев В.В., Подгрушный А.В. Пожарно-техническое вооружение. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2015. – 390 с.
20. M.B.Musaxojiyev, Sh.B.Asamov. Yong'in o'chirish quqaruv texnikasi Ma'lumotlar to'plami. Toshkent-2021 yil. O'zbekiston Respublikasi FVV Akademiyasi.
21. A.H.Qo'ldoshev, O'.T.Muzafarov, M.B.Musaxojiyev. "Yong'in o'chirish texnikasi fanidan" darslik Toshkent 2018-yil Cho'lpon nashriyoti.