

# **MAGNETIC LUBRICANTS IN MINING: PHYSICAL AND CHEMICAL PRINCIPLES, TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS AND APPLICATION PROSPECTS**

A.N. BOLOTOV, Dr. Sc., A.L. YABLONEV, Dr. Sc.

Tver State Technical University,  
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, e-mail: alnikbltov@rambler.ru

Extreme operating conditions of mining equipment (abrasive dust, high humidity, shock and vibration loads, a wide temperature range) limit the service life of traditional lubricants and seals. This article presents an analytical review of the physicochemical, rheological, and tribological properties of magnetic lubricating fluids (MLFs) as a class of "smart" fluids and lubricants. Based on a critical analysis of the work of Russian and international authors, this article systematizes data on the influence of magnetite nanoparticle concentration, magnetic field parameters, and friction pair materials on the friction coefficient, wear, and load-bearing capacity of MLFs. The article summarizes the results of experimental tests of MLFs in magnetic fluid plain bearings, shaft seals, belt conveyor rollers, drilling tools, gearbox gears, as well as in magnetic separation processes, magnetoflotation, cutting fluids, and hydraulic fracturing. The tabular presentation presents quantitative indicators for reducing rotational resistance (up to 73 %), increasing water resistance (retaining properties after 24 hours in coal slurry), increasing service life (by 1,6...7 times), gold recovery during magnetic flotation (92...97 % versus 75...82 %), and reducing cutting tool wear (by 50...70 %). Key promising areas are identified: large-gap seals (up to 0,8 mm), hybrid "lubrication and sealing" systems, adaptive magnetorheological dampers, and intelligent monitoring systems for magnetic fluid condition. A forecast for technology development through 2035 is provided.

*Keywords:* magnetic fluid, ferrofluid, tribological properties, magnetic fluid bearing, magnetic fluid seal, belt conveyor, roller bit, magnetoflotation, cutting fluid, magnetite nanoparticles.

Поступила в редакцию/received: 24.04.2026; после рецензирования/revised: 27.04.2026;  
принята/accepted: 30.04.2026

УДК 622. 23.05

DOI: 10.46573/2658-5030-2026-3-85-90

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТЕЧЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕННОГО ПОТОКА ПРИ УСТРАНЕНИИ ЗАСОРА В ТРУБАХ-МОСТАХ ПРИ ДОБЫЧЕ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ**

Д.М. ЩЕРБАКОВА, канд. техн. наук, Л.В. ЛОБАЧЕВА, канд. техн. наук

Тверской государственный технический университет,  
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: dscherbakowa@yandex.ru

© Щербакова Д.М., Лобачева Л.В., 2026

Статья посвящена исследованию истечения загрязненного потока при устранении засора в трубах-мостах, используемых при добыче торфяного сырья. Засорение трубопроводов (илом, древесными и торфяными остатками) приводит к

*Вестник Тверского государственного технического университета.  
Серия «Технические науки». № 3 (31), 2026*

подпору воды в картовых каналах и снижению эффективности добычи. Изучено изменение гидравлических параметров (давления, скорости, расхода) потока при гидродинамической прочистке, оценена эффективность метода. Для этого создана лабораторная установка, моделирующая процесс истечения. Применены законы гидравлики для напорных трубопроводов, выполнены гидравлические расчеты по уравнению Бернулли, проведен анализ экспериментальных данных. Выявлена зависимость давления на выходе от плотности потока и конфигурации сечения, а также подтверждено влияние местных сопротивлений. Разработаны рекомендации по оптимизации обслуживания труб-мостов для повышения надежности осушительных систем.

*Ключевые слова:* добыча торфяного сырья, трубы-мосты, загрязненная масса, траншея, уравнение Д. Бернулли, выходное сечение, напорный трубопровод.

### ВВЕДЕНИЕ

При добыче торфяного сырья применяют трубы-мосты, служащие для свободного прохода воды и отвода влаги из картовой сети в валовую. Данная конструкция представляет собой сеть из трубопроводов, засыпанных в траншею в результате завершающего этапа подземной прокладки инженерной коммуникации. При эксплуатации система частично или полностью загрязняется илом, древесными остатками, что приводит к подпору воды в картовых каналах. Поднятие уровня грунтовых вод практически до поверхности усложняет работу торфяных машин и увеличивает время сушки в полевых условиях [1, 2].

Прочистку трубопроводов осуществляют специальными машинами, у которых в качестве рабочего органа могут использоваться гидровибрационная головка (машина ПТМ-1), гидравлическая пробка или шланг со стрелой (ПТМ БГ2, МТП-34 – прицепные машины к трактору МТЗ-1021). Более популярны машины с гидродинамическим принципом работы. Гидравлическая пробка с резиновой камерой прикреплена к металлическому основанию. К пробке присоединен шланг, по которому под давлением подается вода (рис. 1) [3].



Рис. 1. Машина ПТМ БГ-2 прицепная к трактору МТЗ-1021

Принцип действия машины заключается в создании избыточного давления потока воды, направленного на засор [1]. При соприкосновении потока воды с поверхностью засора возникает гидравлический удар, сопровождающийся резким повышением давления и заставляющий загрязненную массу перемещаться внутри трубопровода до выхода в окружающую среду. После соприкосновения вода и масса частично смешиваются, что делает засор менее плотным. Загрязненный поток перемещается внутри трубопровода в виде жидкой суспензии. Засор может частично или полностью перекрывать живое сечение трубопровода [4]. В момент удара потока воды требуется передать засору давление, необходимое для преодоления сил

сопротивления между стенками трубопровода и засором (рис. 2). Поскольку на выходе из трубопровода наблюдается внешнее изменение гидравлических параметров потока, можно предположить различие параметров на входе и выходе из живого сечения трубопровода.

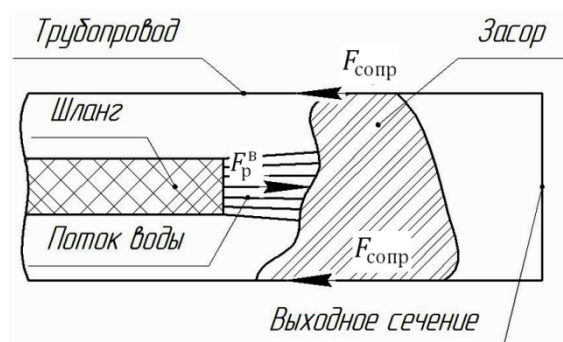


Рис. 2. Момент соприкосновения потока воды и засора внутри трубопровода при полном перекрытии живого сечения.  $F_{сопр}$  – сила сопротивления между потоком воды и внутренней поверхностью трубопровода,  $F_p^в$  – сила давления потока воды

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования давления и скорости на входе и выходе из выходного сечения трубопровода сконструирована лабораторная установка, состоящая из жесткого напорного трубопровода постоянного сечения 1, расходомера 2, видео- и фотокамеры 3, белого матового пластикового щита 4, лампы 5; в качестве рабочей жидкости взята вода (рис. 3).

Жесткий напорный трубопровод установлен между пластиковым щитом и лампой таким образом, чтобы тень от него, падающая на щит, имела действительное изображение. Для измерения расхода воды на трубопроводе установлен объемный расходомер. Рядом с лампой закреплена видео- и фотокамера для фиксации момента истечения жидкости из выходного сечения в окружающую среду и изображении тени на белом щите. Многократный опыт позволил получить изображения профилей потока жидкости на выходе из выходного сечения трубопровода.

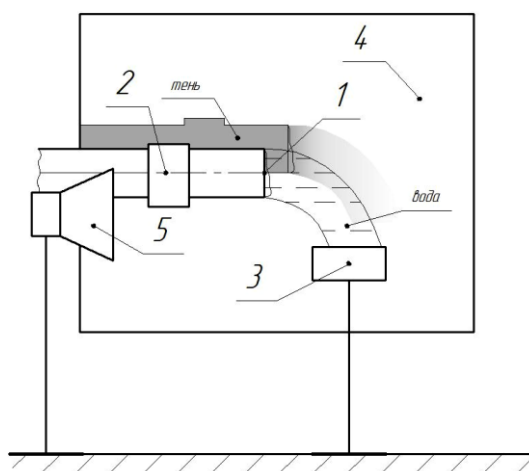


Рис. 3. Схема лабораторной установки

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрим два живых сечения, расположенных перед выходным сечением трубопровода и сразу после него. Через центр живого сечения  $O$  проведем плоскость сравнения  $O-O$  и прямоугольную координатную плоскость  $XOY$  (рис. 4). В момент истечения жидкости из выходного сечения струя воды на границе с газом имеет форму с неровными краями, что свидетельствует о неравномерном распределении давления внутри потока или местных скоростей.

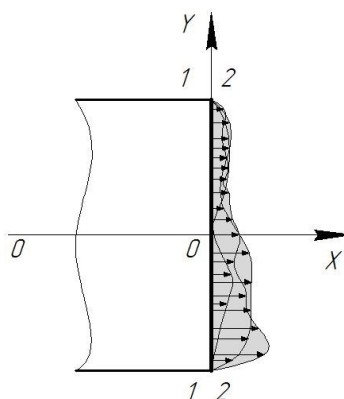


Рис. 4. Продольный профиль потока жидкости на выходе из трубопровода

Для заданных сечений составим уравнение Д. Бернулли для напорного потока элементарной струйки реальной жидкости и выразим его через среднюю скорость  $v$  потока и коэффициент Кориолиса  $\alpha$  [5].

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_{w1-2}, \quad (1)$$

где  $z_1$  и  $z_2$  – координаты центра тяжести живых сечений;  $p_1$  и  $p_2$  – давление перед выходным сечением и сразу после него;  $v_1$  и  $v_2$  – средние скорости потока жидкости живых сечений;  $h_{w1-2}$  – суммарные потери напора;  $\rho$  – плотность жидкости;  $g$  – ускорение свободного падения.

Координаты центра тяжести расположены на плоскости сравнения  $z_1 = z_2$ . Расстояние между живыми сечениями крайне мало:  $dl \approx 0$ , поэтому потерями напора по длине можно пренебречь. Трубопровод постоянного сечения  $S_1 = S_2$ , расход жидкости на входе и выходе сечения постоянный:  $Q = \text{const}$ . Согласно уравнению неразрывности потока,  $Q = S_1 v_1 = S_2 v_2$  [5]. С учетом вышесказанного получим  $v_1 = v_2$ , тогда уравнение Д. Бернулли примет вид

$$\frac{p_1}{\rho g} = \frac{p_2}{\rho g} + h_m, \quad (2)$$

где  $h_m$  – потери напора на местных сопротивлениях.

Домножим левую и правую части уравнения (2) на  $\rho g$ :

$$p_1 = p_2 + h_m \rho g; \quad (3)$$

$$p_2 = p_1 - h_m \rho g, \quad (4)$$

следовательно, давление на входе и выходе из выходного сечения трубопровода зависит от плотности потока жидкости, конфигурации живого сечения.

Однако на струю жидкости в момент ее истечения действуют атмосферное давление и массовые силы (рис. 5). Сила давления  $F_p$ , действующая на живое сечение по оси  $OY$ :

$$F_p = p_{атм} dL + F, \quad (5)$$

где  $dL$  – площадь поверхности живого сечения по оси  $OY$ .

По оси  $OX$  сила давления  $F_{p_2} = s_2 p_2$ . Определим равнодействующую силу давления  $F$  в центре живого сечения:

$$F = \sqrt{F_{p_2}^2 + F_p^2}. \quad (6)$$

Исходя из выражения (6), утверждения об отсутствии давления на выходе и переходе потенциальной энергии жидкости в кинетическую энергию движения нерациональны.

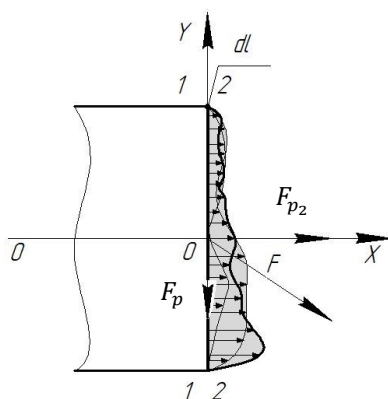


Рис. 5. Силы, действующие на поток жидкости в момент его истечения из выходного отверстия в трубопроводе

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования изучены особенности истечения загрязненного потока при устранении засора в трубах-мостах, используемых при добыче торфяного сырья. Эксперименты на лабораторной установке позволили:

- измерить давление и скорость потока на входе и выходе из трубопровода при различных степенях засорения;

- подтвердить применимость уравнения Бернулли для анализа гидравлических параметров потока в условиях прочистки;

- выявить зависимость давления на выходе из трубопровода от плотности потока жидкости и конфигурации живого сечения;

- оценить влияние местных сопротивлений на изменение гидравлических характеристик потока.

Установлено, что гидродинамический метод прочистки эффективен для устранения засоров, состоящих из торфяных частиц, ила и древесных остатков. При создании избыточного давления и гидравлическом ударе загрязняющая масса переходит в состояние жидкой суспензии и выводится из трубы.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы для разработки более эффективных методов прочистки труб-мостов, оптимизации графика обслуживания сооружений на торфяных месторождениях, проектирования новых конструкций труб-мостов с учетом минимизации риска засора, снижения затрат на эксплуатацию торфяных месторождений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лазарев А.В., Корчунов С.С., Малков Л.М. [и др.]. Справочник по торфу. М.: Недра, 1982. 760 с.
2. Мякотных А.А., Иванова П.В., Иванов С.Л. Традиционные и перспективные способы добычи торфяного сырья // *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. 2021. № 13. С. 37–41.
3. Машина для прочистки трубчатых мостов и тушения очагов возгорания. URL: <https://www.berezinskoe.by/proizvodstvo-mashin-ptm-bg-2/> (дата обращения: 07.05.2026).
4. Патент СССР 246477. Машина для прочистки трубчатых мостов через картовые канавы на полях добычи фрезерного торфа // Попсуев В.Е., Вендигов И.В., Акулич В.А., Тановицкий И.Г., Лукьянов А.Д., Пурис Б.И. Заявл. 17.05.1965. Опубл. 20.06.1969, Бюл. № 21.
5. Чугаев Р.Р. Гидравлика (техническая механика жидкости): учебник. 4-е изд. М.: Бастет, 2013. 671 с.

**Для цитирования:** Щербакова Д.М., Лобачева Л.В. Исследование истечения загрязненного потока при устранении засора в трубах-мостах при добыче торфяного сырья // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2026. № 3 (31). С. 85–90.

### STUDY OF CONTAMINATED FLOW DISCHARGE DURING CLEARING BLOCKAGES IN PIPE-BRIDGES USED IN PEAT RAW MATERIAL EXTRACTION

D.M. SHCHERBAKOVA, Cand. Sc., L.V. LOBACHEVA, Cand. Sc.

Tver State Technical University,  
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, e-mail: dscherbakowa@yandex.ru

The article is devoted to the study of contaminated flow discharge during the clearance of blockages in pipe-bridges used in peat raw material extraction. Blockages in pipelines (caused by silt, wood debris, and peat residues) lead to water backup in cart channels and reduced extraction efficiency. The study examines changes in hydraulic parameters (pressure, velocity, flow rate) during hydrodynamic cleaning and evaluates the method's effectiveness. For this purpose, a laboratory setup was created to simulate the discharge process. The principles of hydraulics for pressurized pipelines were applied, including hydraulic calculations using the Bernoulli equation and analysis of experimental data. The research revealed a dependence of outlet pressure on flow density and cross-section configuration, and confirmed the influence of local resistances. Recommendations have been developed to optimize the maintenance of pipe-bridges, aiming to improve the reliability of drainage systems.

**Keywords:** peat raw material extraction, pipe-bridges, contaminated mass, trench, Bernoulli's equation, outlet cross-section, pressurized pipeline.

Поступила в редакцию/received: 25.05.2026; после рецензирования/revised: 07.06.2026; принята/accepted: 12.06.2026

*Вестник Тверского государственного технического университета.  
Серия «Технические науки». № 3 (31), 2026*