

UDC 622.83

DOI 10.52171/herald.297

Study of the Processes of Destruction of Rocks under the Action of Hydrodynamic Pressure

Kh.E. Aliyarova

Azerbaijan State Oil and Industry University (Baku, Azerbaijan)

For correspondence:

Khalida Aliyarova / e-mail: aliyarova1976@bk.ru

Abstract

The purpose of using hydro-mechanization in the mining industry is to ensure the crushing of large parts of the rock mass and solid phase to sizes suitable for hydraulic transportation conditions. This process requires the creation of sufficient pressure in the water flow. Therefore, the required pressure and water flow rate must be determined in advance. For this purpose, various mathematical models were analyzed to determine the parameters, relevant research studies were studied, and the most realistic ones were selected from the results. Practical calculations were carried out to determine the parameters, and graphs were drawn up based on the results. The results obtained allow determining the pressure and flow rate required to crush the rock to the required size.

Keywords: mountain range, hydraulic transport, hydraulic monitor, pressure, speed, water jet.

Submitted 30 October 2024

Published 22 September 2025

For citation:

Kh.E. Aliyarova

[Study of the Processes of Destruction of Rocks under the Action of Hydro-dynamic Pressure]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2025, vol. 17 (3), pp. 69-74

Hidrodinamik təzyiqin təsiri altında süxurların dağılması proseslərinin öyrənilməsi

X.E. Əliyeva

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Bakı, Azərbaycan)

Xülasə

Dağ-mədən sənayesində hidromexanizasiyadan istifadənin məqsədi süxur kütləsinin və bərk fazanın iri hissələrinin hidravlik daşınma şəraitinə uyğun ölçülərə qədər əzilməsini təmin etməkdir. Bu prosesdə su axınında kifayət qədər təzyiqin yaradılması tələb olunur. Buna görə də, tələb olunan təzyiq və su axınının sürəti əvvəlcədən müəyyən edilməlidir. Bu məqsədlə, parametrlərin təyin olunması üçün müxtəlif riyazi modellər təhlil edilmiş, müvafiq tədqiqat işləri öyrənilmiş və nəticələrdən ən real olanları seçilmişdir. Parametrlərin müəyyən edilməsi üçün praktiki hesablamalar aparılmış və nəticələr əsasında qrafiklər tərtib edilmişdir. Alınan nəticələr süxurun lazımı ölçüdə əzilməsi üçün tələb olunan təzyiq və axın sürətini müəyyən etməyə imkan verir.

Açar sözlər: dağ silsiləsi, hidravlik nəqliyyat, hidromonitor, təzyiq, sürət, su axını.

Исследование процессов разрушения горных пород под действием гидродинамического давления

Х.Э. Алиева

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности
(Баку, Азербайджан)

Аннотация

Целью применения гидромеханизации в горнодобывающей промышленности является обеспечение дробления крупных частей горной массы и твердой фазы до размеров, пригодных для условий гидравлического транспортирования. Для этого процесса необходимо создать достаточное давление в потоке воды. Поэтому необходимо заранее определить необходимое давление и расход воды. Для этого были проанализированы различные математические модели для определения параметров, изучены соответствующие научные исследования и по результатам выбраны наиболее реалистичные. Для определения параметров были проведены практические расчеты, по результатам которых построены графики. Полученные результаты позволяют определить давление и расход, необходимые для дробления горной породы до требуемых размеров.

Ключевые слова: горный массив, гидротранспорт, гидромонитор, давление, скорость, водная струя.

Введение

Целью гидромеханизации является создание давления водного потока, необходимого для измельчения габаритных частей горной массы и твёрдой фазы до размеров, соответствующих требованиям гидравлического транспорта. Это осуществляется с помощью различных устройств, таких как гидромониторы.

По своему составу поток, создаваемый гидромонитором, состоит из трёх зон. В первой зоне поток обладает высокой плотностью и значительным динамическим давлением. Вследствие резкого изменения давления в водяном потоке происходит отделение пузырьков воздуха. Вторая зона представляет собой смесь пузырьков жидкости и воздуха. В третьей зоне поток состоит из отдельных фрагментированных струй и мелких капель воды, движущихся в воздушной среде.

Водный поток условно делится на три участка:

1. Участок формирования струи – расположен непосредственно у сопла гидромонитора. Здесь поток воды ещё сохраняет компактность, имеет наибольшую плотность и высокое динамическое давление. На этом этапе энергия потока максимальна, и он способен разрушать прочные породы.

2. Участок распада струи – на этом участке вследствие взаимодействия с воздухом и внутренних турбулентных процессов струя начинает распадаться. Вода смешивается с воздухом, образуются пузырьки, и наблюдается частичное снижение плотности потока. Давление уменьшается, но сохраняется достаточная кинетическая энергия для выполнения технологических задач.

3. Участок диспергирования – струя окончательно распадается на капли различного размера и фрагменты. Поток

приобретает аэрозольный характер и теряет способность к активному разрушению. Однако даже на этом этапе он может быть полезен, например, для орошения или промывки.

Такое деление водяного потока позволяет более точно рассчитывать эффективность гидромониторной струи на различных расстояниях и корректировать параметры работы оборудования в зависимости от поставленных задач.

Длина рабочей части потока зависит от конструкции гидромонитора и обычно составляет 350 – 450 диаметров насадки [1].

Чтобы усилить поток воды в каналах гидромонитора, им придают максимально гладкую и округлую форму. Для улучшения формирования струи и её гидромеханических характеристик в гидромониторах используются специальные стабилизирующие устройства (рис. 1).

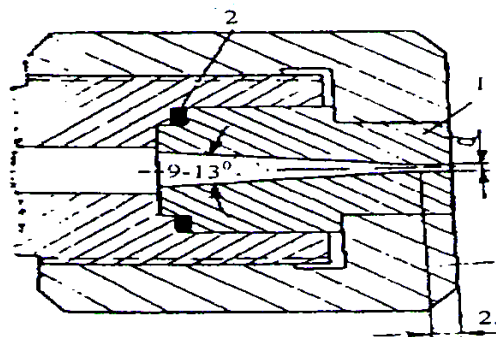


Рисунок 1 – Наконечник с одинарным вырезом и его уплотнение в гнезде: 1 - успокаивающий наконечник, 2 - уплотнение, 3 - зажимная гайка
Figure 1 – Single-notch tip and its seal in the socket: 1 - soothing tip, 2 - seal, 3 - clamping nut

Применение таких стабилизаторов позволяет значительно увеличить динамическое давление потока. Наконечник форсунки гидромонитора обеспечивает полное формирование водяного потока (табл. 1).

Оптимальная конструкция струйного наконечника способствует увеличению осевого динамического давления на 14 %.

Когда напряжение в определённой точке горной породы превышает предел её упругости, происходит деградация породы [2].

Таблица 1 – Размеры наконечников форсунок
Table 1 – Dimensions of injector tips

Диаметр наконечника, мм	Конический угол, гр.	Длина цилиндрической части, мм	Общая длина диаметра струи, мм
185	10,5	320	730
140	8,5	310	718
150	7,2	300	700
160	6,0	295	682
165	5,7	290	645
175	5,0	285	575

Постановка задачи

По мнению специалистов, при малых скоростях потока промывка невозможна. По мере увеличения скорости потока до определённого оптимального значения интенсивность промывки сначала возрастает, а затем изменения становятся незначительными.

Механизм промывки объясняется следующим образом: под действием контактных сил происходит смешивание слоёв горных пород, после чего они оmyваются водой [3]. Поток воды разрушает поверхность горной породы; вода, проникая в поры, воздействует на внутреннюю структуру, особенно в местах соприкосновения потока с дном. В результате разрушается внутренняя структура породы и изменяются её физические свойства. Затем порода дополнительно оmyвается поступающей струей воды [5].

При расчете процесса выщелачивания был разработан метод расчета фильтрационного потока в породе вблизи точки воздействия потока гидромонитора.

Для определения контактного усилия в массиве горных пород, обусловленного сопротивлением отрыву его частиц с во-

дой, имеем формулу:

$$\frac{\tau}{\gamma} = Ri$$

где τ – тактильное напряжение, кг / см²; γ – объемная масса воды, кг / м³; R – гидравлический радиус, м; i – гидравлический уклон.

Во время наблюдения за процессом разрушения горных пород под воздействием давления потока выявлено, что при сильном ударе породы подвергаются следующим воздействиям: *механическое разрушение под действием динамических нагрузок; гидродинамическое разрушение вследствие компрессионного потока; влияние контактных напряжений; напряжения, вызванные насыщением породы водой.*

Также возможно растворение солей, содержащихся в породе.

Решение задачи

На эффективность промывки оказывают большое влияние физико-механические свойства горных пород: коэффициент фильтрации, петрографический и гранулометрический состав, пористость, пластичность, влажность и коэффициент сцепления. Глины с малым коэффициентом фильтрации и близкородственные частицы обладают значительным сопротивлением водопоглощению в массив и относительно слабо смываются водой, при этом эффект промывки очень незначителен. Разрушение глинистых пород зависит от пористости, пластичности и силы сцепления [6].

Установлено, что при промывке песчаников эффективность промывки увеличивается с ростом их влажности и пористости, а также с уменьшением размера частиц. На рис. 2 приведён график зависимости удельного расхода воды, расхода и удельного давления для пород с различными коэффициентами сцепления.

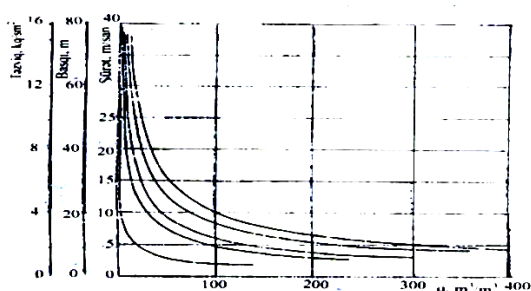


Рисунок 2 – Удельный расход воды на попутные породы, давление и расход полета зависимость скорости

Figure 2 – Specific water consumption for associated rocks, pressure and flow rate dependence of flight speed

В табл. 2 приведен расход воды на промывку 1 м^3 горных пород с разным показателем сцепления.

Таблица 2 – Влияние силы сцепления на удельный расход воды

Table 2 – Effect of adhesion force on specific water consumption

Названия минералов	Цена сцепления, $\text{кг} / \text{см}^2$	Расход воды на 1 м^3 породы, $\text{м}^3 / \text{м}^3$
Суглинки	0,351	5-10
Глины	0,385	10-12
Маслянистые глины	0,441	14-20

От качества проведенных организационных работ и правильного расположения гидромонитора на месте уступа зависит эффективность разрушения горных пород в массиве. На основании устойчивости откоса при промывании пород и данных эксперимента профессор Г.А. Нурик [4] предложил следующие формулы для определения глубины котлована в уступе.

Для пород с высокой силой сцепления:

$$\alpha = \frac{8c^2 l}{6H\gamma 2} - \frac{H}{2} ctg\alpha$$

Только для горных пород, создающих трения и силы сцепления:

$$\alpha = \frac{1}{2bH} \left(ctg \frac{\alpha + \varphi}{2} - ctg\alpha \right) (lH_k^2 - bH^2)$$

Здесь $H_k = \frac{2c}{\gamma} \frac{\cos\varphi}{\sin(45-\frac{\varphi}{2})}$; c - коэффициент сцепления горных пород; φ - угол внутреннего трения горных пород; H - высота ступеньки; γ - объемный вес горных пород; δ - ширина режущего фронта; угол устойчивости α -склона; l - единичная длина плоскости скольжения.

Промывки песка с образованием прозрачной полости не наблюдается. Следовательно, при низком потреблении энергии возможное влияние потока приводит к нарушению структуры массива. При гидравлической переработке угля подземным способом сначала образуется трещина (полость), а затем появляются полосы, параллельные трещине [7,8].

От твердости угля, размера и назначения выработки зависит размер ямы. Процесс разрушения угля под давлением потока воды происходит следующим образом:

1. В зоне соприкосновения потока с угольной массой возникают растягивающие и тактильные напряжения, вызывающие образование слабых трещин.

2. Вода проникает в образовавшиеся трещины, и затем уголь разрушается под воздействием гидростатического давления и износа.

3. В зависимости от строения угольного пласта наблюдаются различные особенности процесса разрушения.

4. Промывка мягких углей осуществляется при давлении 20–25 атм.

5. В углях средней твердости ($f=2$) дно выработки разбирают для создания конической глубины, а перед промывкой уголь размягчают продувкой.

6. Разрушение треснувшего угля происходит за счет гидростатического воздействия воды, поглощенной породным слоем. Этот процесс называется гидро-разрывом пласта. Разрушение угля гидравлическим клином экспериментально доказано: интенсивность обрушения угля зависит не только от начального давления,

но и от типа открытых, закрытых и связанных трещин в нем.

7. Разрушение горных пород начинается с первоначального размягчения и дробления материала в месте контакта струи с породой. Трещины в массиве вызывают уплотнение раздробленных пород.

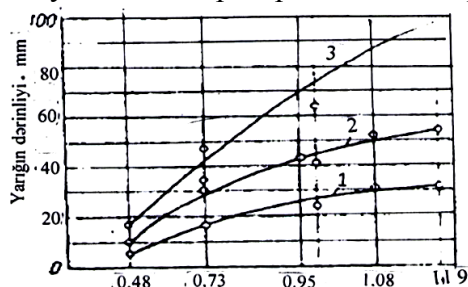


Рисунок 3 – Вывод наконечника глубины пропила материала: 1 – поперечная зависимость гранит, 2 – мрамор; 3 – известняк

Figure 3 – Output of the tip of the cutting depth of the material: 1 – transverse dependence granite, 2 – marble; 3 – limestone

Согласно мнению специалистов, применение технологии «гидравлического клина» условно разделяет процесс на два этапа: этап бурения и этап скольжения.

По данной формуле определяется давление в центре потока при схлопывании угля.

$$P_m = \frac{2\tau}{8.5 + \mu - 2\sqrt{15 + 6\mu}}$$

Здесь P_m – давление в центре потока; μ –

коэффициент Пуассона; τ – предел упругости скольжения образца.

Рассчитанная по данной формуле величина разрушающей нагрузки составляет 60–80 % от временного сопротивления угля. Был проведён ряд специальных исследований разрушения горных пород тонкой струёй при давлении 2000 атм. Диаметр наконечника составлял 0,48–1,19 мм, угол конуса 9–13 градусов. На рисунке 3 показаны общий вид такого наконечника и зависимость глубины отверстия от диаметра наконечника.

Закключение

Была предложена более точная математическая модель давления водяной струи и расчёта скорости её полёта, позволяющая измельчать породы горного массива до требуемых размеров. На основе данной модели произведены расчёты и построены графики зависимости дальности струи, давления, скорости полёта и удельного расхода воды.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

REFERENCES

1. Buyanov Yu.D., Krasnopol'skij A.F. Razrabotka mestorozhdenij nerudnyh poleznyh iskopaemyh. M, Nedra, 1980, 430 s.
2. Ismailov R. T. Processy otkrytyh gornyh rabot. - Baku, -2010, -278 s.
3. Azizov A.M., Afandieva Z.Ch. Osnovy gornogo dela (uchebnik). Baku, 2010, 278 s.
4. Nurok G.A. Gidromekhanizaciya gornyh rabot. M.: Gosudarstvennoe nauchno-tehnicheskoe izdatel'stvo literatury po gornomu delu, 1959.
5. Kamenev P.N. Gidroelevatory v stroitel'stve. M, 1964.
6. Zhabin A.B., Polyakov A.V., Hachaturyan V.G. Vliyanie gidravlicheskih parametrov strui vody na pokazateli processa shcheleobrazovaniya pri rezanii goryuchih slancev. Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle, 2016. Vyp.2.
7. Brenner V.A., Zhabin A.B., Shchegolevskij M.M., Polyakov A.V., Polyakov A.V. Sovershenstvovanie gidrostrujnyh tekhnologij v gornom proizvodstve. M. 2010.
8. Eminov R.A., Mamedova S.B., Aliyarova Kh.E. Povyshenie tochnosti ocenki prosadki grunta dlya bezopasnogo funkcionirovaniya truboprovodov// Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, Baku, 2025, vol.17(1), pp. 51 – 57.