

# Выбор оптимальных режимов гидроабразивного резания металла

**И.В. Добровольский**  
главный механик<sup>1</sup>  
igor.dobrovolskiyi@gmail.com

**М.М. Лях**  
к.т.н., профессор<sup>2</sup>  
no@nung.edu.ua

<sup>1</sup>ЧАО «Укргаздобыча», Харьков, Украина  
<sup>2</sup>Ивано-Франковский Национальный  
Технический университет нефти и газа,  
Ивано-Франковск, Украина

**При ликвидации открытых фонтанов часто возникает проблема по демонтажу устьевого оборудования. Данные работы очень опасные и трудоемкие. Применение метода резки аварийного оборудования гидроабразивным способом может существенно обезопасить и ускорить работы по ликвидации аварии в целом. В статье определяется оптимальный режим резания и состав гидроабразивной смеси для резания металлоконструкций давлением до 40 МПа при проведении работ по резанию устьевого оборудования для ликвидации открытых фонтанов.**

**Материалы и методы**  
Испытательный стенд «Струя». Образцы стали разных марок.

**Ключевые слова**  
гидроабразивное резание, гидрорезание, резание металла

Гидроабразивное резание — альтернатива не только механическому, но и лазерному, плазменному, ультразвуковому, а в некоторых случаях является единственно возможным методом резания сложных конструкций.

В основу гидрорезания материалов положен своеобразный режущий инструмент — определенным способом сформированная тонкая высоконапорная струя жидкости. Эффект гидравлического резания достигается за счет концентрации высокого уровня энергии в струе жидкости, которая вытекает из насадки с большой скоростью под действием большого давления. При этом плотность струи превышает прочность материала. [1]

Гидрорезание материалов производится двумя способами, которые отличаются отсутствием или наличием абразива в рабочей жидкости. Введение абразива в струю увеличивает ее технологические возможности за счет увеличения режущей способности гидроабразивной смеси. [2]

При гидроабразивной резке вода (жидкость) в первую очередь служит для транспортировки абразивных частичек, которые являются режущим инструментом.

Для повышения режущих способностей, как при гидравлическом, так и при гидроабразивном способе резания, в высоконапорную струю вводят хладагент, который способствует образованию льдинок в струе, что повышает режущие свойства струи. [3]

Гидроабразивное резание имеет ряд принципиальных отличий, которые обеспечивают высокую универсальность процесса и значительно расширяют область ее рационального применения. [4]

К недостаткам гидрорезания следует отнести недолговечность сопла и трудности его изготовления, а также дороговизну оборудования.

Номенклатура материалов, для резки которых возможно применять современную технологию гидроабразивного резания, почти неограниченная, а иногда и единственно возможная. Например, данный метод дает возможность проводить резание разнообразных сэндвич конструкций, которые другими методами в принципе не режутся.

Таким образом, гидроабразивный метод резания металла целесообразно использовать для проведения расчленения устьевого оборудования в условиях горящего нефтегазового фонтана, что существенно обезопасит данный этап проведения аварийных работ.

С целью определения оптимальных режимов и технологии резания металла, с учетом доступного оборудования и насосной техники, а именно цементировочных агрегатов АСF-700 и АСF-1000, был разработан специальный стенд «Струя» (рис. 1), который состоит из гидроабразивного резака 1, насадки 2, станины 3, подвижной плиты 4 на которой закреплен эталонный образец 5.

Конструкция стенда «Струя» позволяет дискретно перемещать и фиксировать эталонный образец в продольном и горизонтальном направлениях, изменяя расстояние L до насадки в пределах от 40 до 300 мм.

Проходной диаметр насадки равен 5 мм. Материал насадки — ВК-6М.

На данном стенде были произведены следующие исследования:

1. Определение оптимального режима

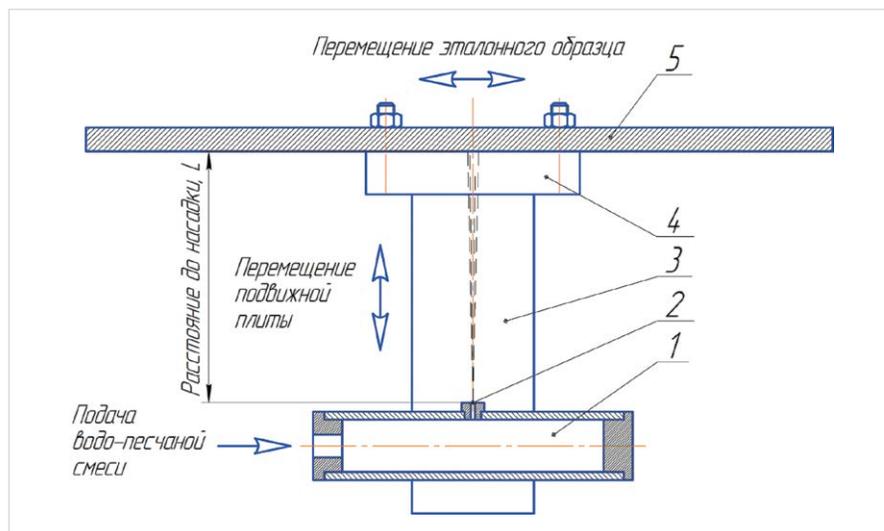


Рис. 1 — Схема стенда «Струя»  
1 — Гидроабразивный резак; 2 — Насадка; 3 — Станина; 4 — Подвижная плита;  
5 — Эталонный образец

Давление нагнетания, МПа	15			20			25			30			35		
Концентрация песка, кг/м <sup>3</sup>	100	150	200	100	150	200	100	150	200	100	150	200	100	150	200
Время резания, с	160	155	155	102	100	98	85	73	70	36	32	30	28	26	26

Таб. 1 — Режимы резания и результаты исследования

- резания в зависимости от давления нагнетания и концентрации песка.
2. Определение воздействия размера фракции песка на процесс резания.
  3. Определение воздействия расстояния до эталонного образца на процесс резания.
  4. Определение воздействия физико-механических свойств металла на процесс резания.

**Исследование №1 — Определение оптимального режима резания в зависимости от давления нагнетания и концентрации песка.**

Эталонный образец устанавливался с возможностью его горизонтального перемещения, а расстояние до насадки составляло 40 мм. Для определения оптимального режима проводились резание эталонного образца толщиной 30 мм из Ст.3 ГОСТ 380.

В качестве абразива применялся сухой мытый калиброванный кварцевый песок ОВС (Новая Водолага, Украина) размером фракции 0,15–0,3 мм.

Результаты исследования №1 представлены в таб. 1 и на рис. 2.

Прорезанный эталонный образец представлен на рис. 3.

После проведения первого этапа исследований определено и принято эффективное давление резания 30 МПа, так как дальнейшее повышение давления существенно не улучшает процесс резания, но в свою очередь значительно увеличивает нагрузку на насосную нагнетательную технику.

Все последующие исследования будут проводиться на принятом эффективном давлении резания.

Относительно концентрации песка в водопесчаной смеси исследования показали, что оптимальной концентрацией песка можно условно приблизительно принять 120...150 кг/м<sup>3</sup> и использовать данную концентрацию для последующих исследований.

**Исследование №2 — Определение воздействия размера фракции песка на процесс резания.**

Для проведения данного этапа исследований были использованы три фракции кварцевого песка ОВС (Новая-Водолага, Украина):

- №1 — фракция 0,15–0,30 мм;
- №2 — фракция 0,3–0,8 мм;
- №3 — фракция 0,5–1 мм.

Результаты исследования режимов резания №2 представлены в таб. 2.

**Исследование №3 — Определение воздействия расстояния до насадки на процесс резания.**

Эталонный образец поэтапно перемещался и статически фиксировался на разных расстояниях от насадки, при помощи подвижной плиты. Для определения воздействия расстояния от насадки до места резания проводилась резка эталонного образца на расстояниях 40 мм, 150 мм, 300 мм.

Режимы резания и результаты исследования №3 предоставлены в таб. 3 и на рис. 4.

**Исследование №4 — Определение воздействия физико-механических свойств металла на процесс резания.**

Для определения воздействия физико-механических свойств металла на процесс резания в качестве образцов использовались

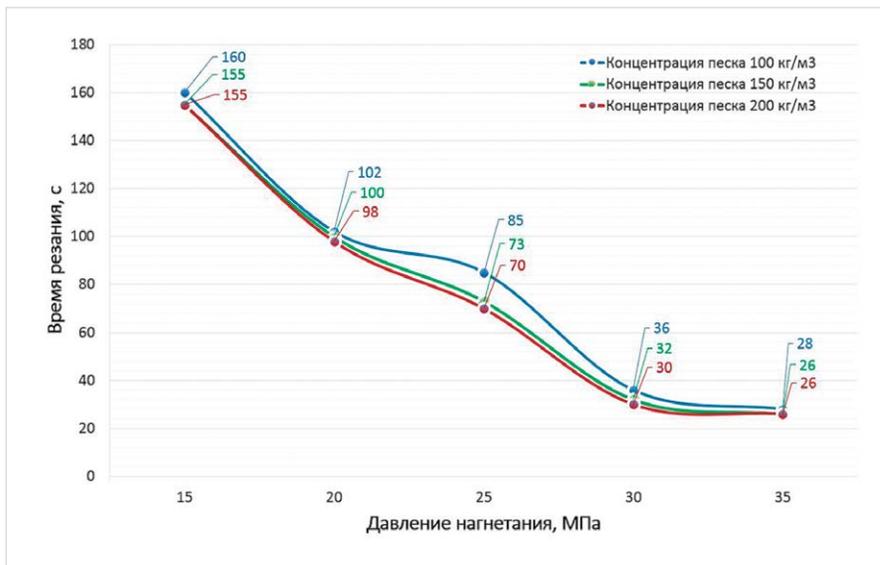


Рис. 2 — Зависимость времени резания от давления нагнетания и концентрации песка



Рис. 3 — Прорезанный эталонный образец

Давление нагнетания, МПа	30								
Песок	№1			№2			№3		
Концентрация песка, кг/м <sup>3</sup>	150								
Время резания, с	32	30	34	58	55	56	30	34	36

Таб. 2 — Режимы резания и результаты исследования №2

Давление резания, МПа	30								
Концентрация песка, кг/м <sup>3</sup>	150								
Расстояние до насадки, L, мм	40			150			300		
Время резания, с	32	29	30	80	80	84	117	110	118

Таб. 3 — Режимы резания и результаты исследования №3

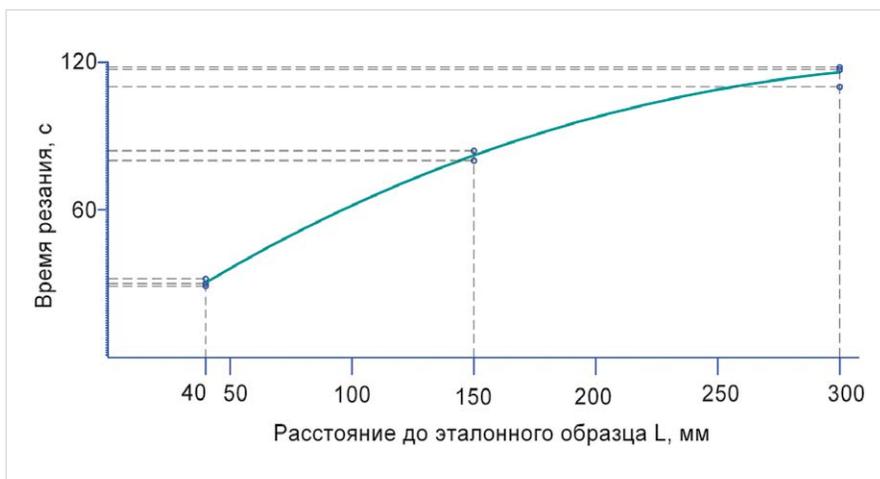


Рис. 4 — Зависимость времени резания от расстояния до насадки

стали разных марок с разными твердостями по HRCэ. Эталонные образцы размещались неподвижно на расстоянии 40 мм от насадки.

Параметры материалов, режимы резания и результаты исследования №4 представлены в таб. 4 и рис 5.

#### Итоги

После проведения исследований определено и принято эффективное давление резания 30 МПа и оптимальную концентрацию песка 120...150 кг/м<sup>3</sup>, при этом следует отметить, что увеличение фракции песка положительно не сказалось на процессе резки, а твердость стали, которую режут, не влияет на скорость резки.

#### Выводы

Ряд вышеизложенных исследований показал, что технически возможно проводить работы по резанию (расчленению) устьевого оборудования при проведении аварийных работ по ликвидации открытых нефтегазовых фонтанов с применением технологии гидроабразивного резания и использованием доступных материалов и техники.

Для внедрения данного метода на аварийных работах необходимо дополнительно разработать специальный инструмент (гидроабразивный резак), а также отработать технологию резания различных элементов металлоконструкций устьевого оборудования, которые имеют не прямолинейную форму.

Давление резания, МПа	30								
Концентрация песка, кг/м <sup>3</sup>	150								
Марка стали	Ст. 3 ГОСТ 380			Сталь 45 ХГМА ГОСТ 4543			Сталь 45 ХГМА ГОСТ 4543		
Твёрдость, HRC <sub>э</sub>	-			25			42		
Время резания, с	32	32	31	41	40	44	29	28	30

Таб. 4 — Режимы резания и результаты исследования №4

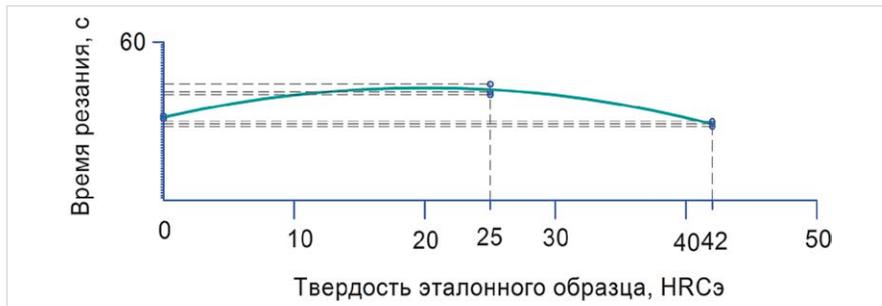


Рис. 5 — Зависимость времени резания от твердости стали

#### Список литературы

1. Тихомиров Р.А., Гуенко В.С. Гидрорезание неметаллических материалов. Киев: Техника, 1984. 150 с.
2. Коржов Е.Г. Некоторые особенности водоструйной обработки материалов — waterjet-технология // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. №3. С. 273–287.
3. Степанов Ю.С., Барсуков Г.В. Современные технологические процессы механического и гидроструйного раскроя технологических тканей. М.: Машиностроение, 2004. 240 с.
4. Саленко А.Ф. Гидроструйной резание: проблемы и перспективы метода // Оборудование и инструмент для профессионалов. 2002. №10. С. 20–23.

## Selecting the optimum mode of water-jet cutting metal method

UDC 622.691

#### Authors:

Igor V. Dobrovolskyi — chief engineer<sup>1</sup>; [Igor.dobrovolskyi@gmail.com](mailto:Igor.dobrovolskyi@gmail.com)

Michail M. Lyakh — Ph.D., professor<sup>2</sup>; [no@nung.edu.ua](mailto:no@nung.edu.ua)

<sup>1</sup>PJSC "Ukrgasdobycha", Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup>Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

#### Abstract

During the process of elimination of blowouts the problem of dismantling wellhead often were revealed. This type of operation is very dangerous and time-consuming. Using hydroabrasive (water-jet) cutting method can significantly secure and accelerate process of the accident liquidation as a whole.

In this paper were determined the optimal cutting mode and the composition of a mixture of water-jet cutting of equipment by pressure up to 40 MPa during the cutting work wellhead to eliminate blowouts.

#### Materials and methods

Testing bench "Struya". Steel samples of different brands.

#### Results

As result of testing was determined and set effective cutting pressure which is 30 MPa. Also was determined the optimal concentration of sand 120... 150 kg/m<sup>3</sup>, it should be noted that the increase in the fraction of sand does not affect the process of cutting, and the hardness of the steel, which is cut, does not affect the cutting speed.

#### Conclusions

A number of the above studies have shown

that it is technically possible to carry out work on the cutting (dismemberment) wellhead equipment during emergency operations for liquidation of open oil fountains with Waterjet cutting technology and use of available materials and technology.

To implement this method in the emergency work is necessary to further develop the special tool (hydroabrasive cutter), as well as prove the work of cutting technology of the various elements of metal structures wellhead, which do not have a straight shape.

#### Keywords

pressure water cutting, water-jet cutting, cutting metal

#### References

1. Tikhomirov R.A., Guenko V.S. *Gidrorezanie nemetallicheskih materialov* [Waterjet cutting non-metallic materials]. Kiev: *Tekhnika*, 1984, 150 p.
2. Korzhov E.G. *Nekotorye osobennosti vodostruynoy obrabotki materialov — waterjet-tehnologiya* [Some features of the water jet processing of materials - waterjet- technology]. Mining informational and analytical bulletin, 2006, issue 3, pp. 273–287.
3. Stepanov Yu.S., Barsukov G.V. *Sovremennye tekhnologicheskie protsessy mekhanicheskogo i gidrostruynogo raskroya tekhnologicheskikh tkaney*. [Modern technological processes of mechanical and technological hydrojet cutting tissue]. Moscow: *Mashinostroenie*, 2004, 240 p.
4. Salenko A.F. *Gidrostruynoy rezanie: problemy i perspektivy metoda* [Hydro-jet cutting : problems and prospects of the method] *Oborudovanie i instrument dlya professionalov*, 2002, issue 10, pp. 20–23.