

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.397>

УДК 614.844

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ВОДЫ И ПРИРОДЫ АБРАЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВРЕМЯ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ВРЕЗКИ СТВОЛА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Василевич Д.В., Лахвич В.В., Родак В.Я.

Цель. Повышение эффективности гидроабразивной резки путем выбора рациональных параметров процесса и абразивного материала.

Методы. Натурные испытания по программе полнофакторного эксперимента по врезке ствола высокого давления в строительные конструкции, статистическая обработка данных.

Результаты. Получены экспериментальные данные о времени врезки ствола высокого давления в строительные конструкции, выполненные из различных материалов.

Область применения исследований. Результаты исследований могут быть использованы пожарными аварийно-спасательными подразделениями при ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: гидроабразивная струя, резка водой строительных конструкций, установка для подачи воды под высоким давлением, ствол высокого давления, пескоструйный насадок, абразивный материал.

(Поступила в редакцию 22 июня 2020 г.)

Введение

Современные средства пожаротушения, как правило, включают установку подачи воды высокого давления, привод насоса, емкость для воды и пенообразователя, емкость для абразивного материала, шланг и ствол высокого давления [1]. Пожарные автомобили быстрого реагирования комплектуются такими установками. Кроме того, их можно использовать в различных чрезвычайных ситуациях (тушение пожаров автотранспорта, в многоэтажных зданиях, промышленных и жилых помещениях). Применение получили установки подачи воды высокого давления с гидроабразивной резкой Cobra¹, «Гюрза»², Pyrolance³, зарекомендовавшие себя с положительной стороны.

Однако при их обслуживании и эксплуатации возникают определенные проблемы. Это связано с тем, что в процессе работы установок абразив смешивается с водой в смесителе за насосом, и в дальнейшем через шланг высокого давления подается к стволу. Абразив воздействует на смеситель и шланг, что ведет к их износу. Оборудование выходит из строя.

Для предотвращения негативного воздействия абразивных материалов на шланг и смеситель предложено внести изменения в способ подачи абразивного материала к стволу, а именно подавать абразивный материал непосредственно в ствол путем эжекции. Вода, проходящая через сопло с большой скоростью, за счет создания разряжения, сможет увлечь абразивный материал в необходимом количестве.

¹ Система тушения пожара «Кобра» [Электронный ресурс] / Coldcut™ academy. – Режим доступа: <https://www.coldcutsystems.com/products>. – Дата доступа: 15.06.2020.

² Комбинированная установка гидроабразивной резки и пожаротушения «Гюрза» [Электронный ресурс] / Системные решения противопожарной защиты. – Режим доступа: http://www.kalancha.ru/catalog/ustanovka_gidroabrazivnoy_rezki_i_pozharotusheniya_gyurza/. – Дата доступа: 15.06.2020.

³ Система тушения Pyrolance [Электронный ресурс] / PyroUHP. – Режим доступа: <https://www.pyrouhp.com/all-products/pyrolance-models/>. – Дата доступа: 15.06.2020.

Основная часть

Достаточно большое количество компаний, в том числе Karcher, Bosch, Stihl производят установки для подачи воды под высоким давлением. В комплект может входить система для проведения абразивной обработки поверхности материалов. Основная часть этой системы представляет собой насадок, выполненный в виде струйного насоса. Насадок крепится на конец корпуса ствола высокого давления (рис. 1).



а – общий вид пескоструйного насадка, применяемого при проведении эксперимента



б – вид насадка, закрепленного на стволе высокого давления

Рисунок 1. – Пескоструйный насадок, применяемый при проведении испытаний

При прохождении воды через ствол и насадок в последнем создается разрежение, из-за чего инициируется забор абразивного материала. Однако струя, формируемая на выходе, является не точечной, поскольку она предназначена для обработки поверхности, а не для ее прорезания.

В связи с этим представляет интерес исследование влияния качественных характеристик абразивного материала на возможность резки строительных материалов без изменения конструкции насадка.

Для проведения исследований в качестве абразивного материала были выбраны гранатовый песок Garnet MESH 80 и кварцевый песок фракции 0,6–0,8 мм.

В качестве образцов строительных материалов были использованы: металлические пластины Ст. 3 толщиной 4 мм (далее – металл), деревянный оцилиндрованный свежеспеленный сосновый брус диаметром 150 мм (далее – дерево); тротуарная плитка «Кирпичик» размером 198×98×80 мм (далее – плитка), кирпич полнотелый одинарный КРО М-175 размером 250×125×65 мм (далее – кирпич).

Средства измерений, применяемые при проведении испытаний, представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Средства измерений, применяемые при проведении испытаний

№ п/п	Наименование средств измерений	Дата прохождения метрологической аттестации, поверки, номер свидетельства, срок действия
1	Секундомер электронный «Интеграл С-01» № 694394	Свидетельство о поверке № МН 0156468-4320, действительно до 14.04.2021
2	Штангенциркуль электронный ШЦЦ-1 № 119416	Паспорт поверки б/н, действителен до 06.04.2021
3	Рулетка металлическая Popular PP5M EC-Class II	Клеймо МН 0108085, действительно до 01.04.2021

Оборудование, применяемое при проведении испытаний, представлено в таблице 2.

Таблица 2. – Оборудование, применяемое при проведении испытаний

№ п/п	Наименование оборудования	Примечание
1	Установка подачи воды высокого давления АД ЛМ 545	Установка создает давление воды до 450 бар с потоком до 22 л/мин
2	Форсунка 450/22 (Ф1)	Форсунка с заводскими характеристиками 450 бар, 22 л/мин
3	Форсунка 150/22 (Ф2)	Форсунка с заводскими характеристиками 150 бар, 22 л/мин
4	Насадок на ствол высокого давления	Общий вид насадка представлен на рисунке 1

Программа проведения испытаний представлена в таблице 3.

Таблица 3. – Программа проведения испытаний

№ п/п	Объект испытаний	Параметры испытаний
1	Гидроабразивная резка дерева при различных давлениях и при использовании различного абразивного материала	Испытание проведено на свежеспиленном сосновом деревянном бревне диаметром 150 мм
2	Гидроабразивная резка плитки при различных давлениях и при использовании различного абразивного материала	Испытание проведено на тротуарной плитке «Кирпичик» размером 198×98× 80 мм (длина, ширина, высота). Резка проводилась по высоте
3	Гидроабразивная резка кирпича при различных давлениях и при использовании различного абразивного материала	Испытание проведено на кирпиче полнотелом одинарном КРО М-175 размером 250×125× 65 мм (длина, ширина, высота). Резка проводилась по высоте
4	Гидроабразивная резка металла при различных давлениях и при использовании различного абразивного материала	Испытание проведено на металлической пластине толщиной 4,0 мм

При проведении испытаний время фиксировалось с момента подачи воды до появления сквозного отверстия в материале (при этом ствол высокого давления вместе с насадком упирался в прорезаемый материал). Максимальное время испытания составляло 1 мин. Каждый образец испытывали 5 раз, затем определяли среднее время Δt .

Результаты испытаний представлены в таблице 4.

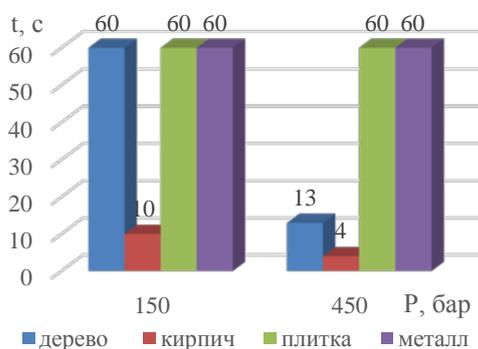
Таблица 4. – Результаты испытаний

№ п/п	Врезка в строительный элемент	Давление, бар	Δt , с	Характеристики форсунки	Вид абразивного материала
1	Дерево	450	13	450/22	Без абразива
2	Кирпич	450	4	450/22	Без абразива
3	Плитка	450	60	450/22	Без абразива
4	Металл	450	60	450/22	Без абразива
5	Дерево	450	11	450/22	Гранатовый песок
6	Кирпич	450	2	450/22	Гранатовый песок
7	Плитка	450	60	450/22	Гранатовый песок
8	Металл	450	15	450/22	Гранатовый песок
9	Дерево	450	12	450/22	Кварцевый песок
10	Кирпич	450	2	450/22	Кварцевый песок
11	Плитка	450	60	450/22	Кварцевый песок
12	Металл	450	17	450/22	Кварцевый песок
13	Дерево	300	28	450/22	Гранатовый песок
14	Кирпич	300	4	450/22	Гранатовый песок
15	Плитка	300	60	450/22	Гранатовый песок
16	Металл	300	24	450/22	Гранатовый песок
17	Дерево	300	30	450/22	Кварцевый песок
18	Кирпич	300	5	450/22	Кварцевый песок
19	Плитка	300	60	450/22	Кварцевый песок
20	Металл	300	27	450/22	Кварцевый песок
21	Дерево	200	60	450/22	Гранатовый песок

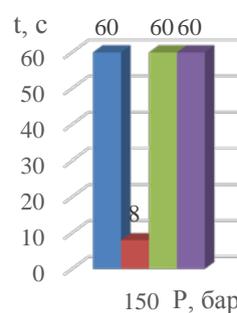
Продолжение таблицы 4

№ п/п	Врезка в строительный элемент	Давление, бар	Δt , с	Характеристики форсунки	Вид абразивного материала
22	Кирпич	200	6	450/22	Гранатовый песок
23	Плитка	200	60	450/22	Гранатовый песок
24	Металл	200	26	450/22	Гранатовый песок
25	Дерево	200	60	450/22	Кварцевый песок
26	Кирпич	200	7	450/22	Кварцевый песок
27	Плитка	200	60	450/22	Кварцевый песок
28	Металл	200	28	450/22	Кварцевый песок
29	Дерево	150	60	450/22	Без абразива
30	Кирпич	150	10	450/22	Без абразива
31	Плитка	150	60	450/22	Без абразива
32	Металл	150	60	450/22	Без абразива
33	Дерево	150	60	450/22	Гранатовый песок
34	Кирпич	150	8	450/22	Гранатовый песок
35	Плитка	150	60	450/22	Гранатовый песок
36	Металл	150	60	450/22	Гранатовый песок
37	Дерево	150	60	450/22	Кварцевый песок
38	Кирпич	150	8	450/22	Кварцевый песок
39	Плитка	150	60	450/22	Кварцевый песок
40	Металл	150	60	450/22	Кварцевый песок
41	Дерево	150	60	150/22	Без абразива
42	Кирпич	150	8	150/22	Без абразива
43	Плитка	150	60	150/22	Без абразива
44	Металл	150	60	150/22	Без абразива
45	Дерево	150	60	150/22	Гранатовый песок
46	Кирпич	150	5	150/22	Гранатовый песок
47	Плитка	150	60	150/22	Гранатовый песок
48	Металл	150	22	150/22	Гранатовый песок
49	Дерево	150	60	150/22	Кварцевый песок
50	Кирпич	150	6	150/22	Кварцевый песок
51	Плитка	150	60	150/22	Кварцевый песок
52	Металл	150	25	150/22	Кварцевый песок

При анализе результатов, отображенных на рисунке 2а, видно, что форсунка Ф1 при давлении 150 бар неэффективна в применении при отсутствии абразивного материала: только в кирпиче было образовано сквозное отверстие. Во всех остальных материалах сквозного отверстия не было, и по истечении одной минуты испытание было остановлено.



а – с использованием форсунки Ф1



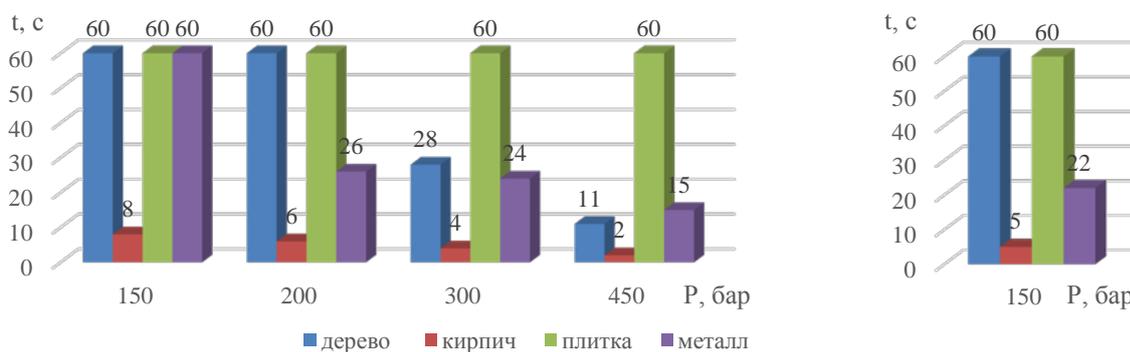
б – с использованием форсунки Ф2

Рисунок 2. – Зависимость времени прорезания строительных элементов от давления без применения абразивного материала

При повышении давления до 450 бар наблюдается положительная динамика, поскольку насквозь было прорезано и дерево. Однако при прорезании металла и плитки сквозного отверстия не было. При этом следует отметить, что при давлении 450 бар в стволе появилась большая реактивная сила, для противостояния которой ствольщику требовалось приложить намного больше усилий, чем при давлении 150 бар.

Анализ результатов испытаний форсунки Ф2 при давлении 150 бар без использования абразива показал, что полученные параметры практически идентичны параметрам, полученным при испытаниях форсунки Ф1 при том же давлении (рис. 2б).

При добавлении в поток струи абразивного материала Garnet MESH 80 (гранатовый песок), исследуемые материалы с применением форсунки Ф1 при давлениях от 150 до 450 бар прорезаются значительно эффективнее (рис. 3а). При этом время прорезания уменьшается при повышении давления в насосе.



а – с использованием форсунки Ф1
 б – с использованием форсунки Ф2
Рисунок 3. – Зависимость времени прорезания строительных элементов от давления при применении гранатового песка

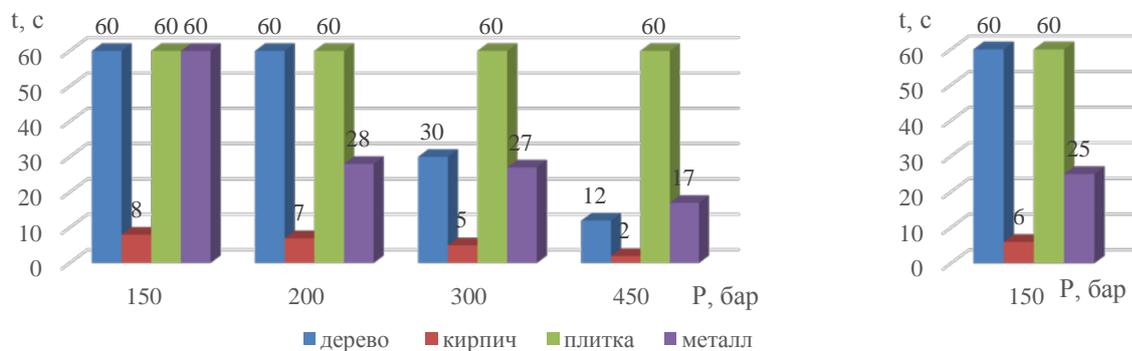
Достичь сквозного отверстия при прорезании плитки не удалось по причине невозможности удержания ствола в одной точке (отсутствия упора на насадке), а также отсутствия отвода использованной воды (рис. 4).



Рисунок 4. – Прорезание плитки

При анализе результатов испытаний форсунки Ф2 с применением гранатового песка видно, что полученное время прорезания по всем испытуемым материалам схоже с результатами при испытании форсунки Ф1. Только при давлении 150 бар результаты по времени прорезания металла (60 и 22 с соответственно) значительно отличаются (рис. 3б). Объясняется это тем, что при понижении давления на насосе на форсунке снижается и расход воды, уменьшение которого и влияет на конечный результат.

При замене абразивного материала Garnet MESH 80 на кварцевый песок полученные показатели практически идентичны показателям с применением гранатового песка в тех же условиях (рис. 5). Следует отметить, что расход абразивного материала независимо от его природы остается практически неизменным.



а – с использованием форсунки Ф1
 б – с использованием форсунки Ф2
Рисунок 5. – Зависимость времени прорезания строительных элементов от давления при применении кварцевого песка

Заключение

В результате испытаний по определению эффективности гидроабразивной резки установлено, что наименьшее время для проделывания сквозного отверстия в металлической пластине толщиной 4 мм (рис. 6а) составило 15 с при давлении 450 бар и расходе 22 л/мин. Для определения минимального давления, при котором возможна резка, постепенно понижалось давление. При давлении 150 бар резка была неэффективной при использовании форсунки Ф1. Форсунка Ф2 при давлении 150 бар оказалась наиболее эффективной. Размер проделанного отверстия в диаметре составил 5–6 мм.

При прорезании тротуарной плитки сквозное отверстие не было образовано во всех случаях из-за невозможности удержания ствола в одной точке вследствие большой реактивной силы, отсутствия упора и направленного отвода воды (рис. 6б).

При прорезании деревянного бруса диаметром 150 мм (рис. 6в) выявлено, что время прорезания напрямую зависит от давления на стволе (при давлении 450 бар без абразива – 13 с, с абразивом – 11 с; при давлении ниже 300 бар сквозного отверстия не было с абразивом и без него) и практически не зависит от наличия абразивного материала в струе воды. Это указывает на то, что при прорезании определенных строительных материалов испытываемый ствол способен выполнять свои функции и без абразивного материала, но при этом увеличивается время работы.

При прорезании полнотелого кирпича во всех экспериментах было образовано сквозное отверстие (рис. 6 г–д).

Особую сложность представляло удержание ствола в одной точке из-за наличия большой реактивной силы и отсутствия отвода использованной воды. Поэтому во время испытаний насадок кругло-торцевой частью упирался в прорезаемый материал, что привело к выработке его передней части. Было определено, что в дальнейшем нужно разработать наконечник на ствол высокого давления, позволяющий осуществлять отвод использованной воды, упор и удержание ствола в одном положении.

Следует отметить, что абразивный материал подавался не равномерно, а порционно по причине большого диаметра и длины шланга.

Для совершенствования данного способа в дальнейшем следует исследовать зависимость скорости врезки в материалы: от диаметра форсунки при постоянном давлении; длины

насадка ствола высокого давления; диаметра spryska насадка; расстояния от насадка до про-резаемой конструкции; диаметра отверстия для забора абразивного материала; длины шланга забора абразивного материала; природы и фракции абразивного материала.



a – металлическая пластина тол-щиной 4 мм



б – тротуарная плитка «Кирпичик» высотой 80 мм



в – свежеспиленный сосновый брус диаметром 150 мм



z – входное отверстие при испытании кирпича полнотелого одинарного КРО М-175



d – выходное отверстие при испытании кирпича полнотелого одинарного КРО М-175

Рисунок 6. – Вид строительных материалов после проведения испытаний

ЛИТЕРАТУРА

1. Василевич, Д.В. Перспективные средства тушения пожаров с применением установок подачи огнетушащих веществ высокого давления / Д.В. Василевич, В.В. Лахвич, Д.С. Миканович // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 3. – С. 283–290. DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.283.

Влияние давления воды и природы абразивных материалов на время гидроабразивной врезки ствола высокого давления в строительные конструкции

Influence of water pressure and abrasive materials nature on the duration of the high-pressure abrasive water jet cutting in building structures

Василевич Дмитрий Владимирович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра пожарной аварийно-спасательной техники, старший преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: dzmitry112vasilevich@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1976-0344

Dzmitry V. Vasilevich

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of of Fire Rescue Equipment, Senior Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus
e-mail: dzmitry112vasilevich@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1976-0344

Ляхвич Вячеслав Вячеславович

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра пожарной аварийно-спасательной техники, начальник кафедры

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь
e-mail: slavaspec@rambler.ru
ORCID: 0000-0001-7601-305X

Viachslau V. Lakhvich

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Fire Rescue Equipment, Head of Chair

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus
e-mail: slavaspec@rambler.ru
ORCID: 0000-0001-7601-305X

Родак Вячеслав Яковлевич

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», магистрант

Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь

Viachslau Y. Rodak

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Graduate Student

Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2020.4-4.397>

**INFLUENCE OF WATER PRESSURE AND ABRASIVE MATERIALS NATURE
ON THE DURATION OF THE HIGH-PRESSURE ABRASIVE WATER JET
CUTTING IN BUILDING STRUCTURES**

Vasilevich D.V., Lakhvich V.V., Rodak V.Y.

Purpose. Improving the efficiency of abrasive water jet cutting by choosing rational process parameters and abrasive material.

Methods. Full-scale tests within the program of a full-factor experiment on cutting a high-pressure barrel into building structures, statistical data processing.

Findings. Experimental data on the time of the high-pressure cutting barrel into building structures made of various materials have been obtained.

Application field of research. The research results can be used by fire rescue units in emergency response.

Keywords: abrasive water jet, water cutting of building structures, high pressure water supply unit, high-pressure barrel, sandblasting nozzle, abrasive material.

(The date of submitting: June 22, 2020)

REFERENCES

1. Vasilevich D.V. Perspektivnye sredstva tusheniya pozharov s primeneniem ustanovok podachi oagnetushashchikh veshchestv vysokogo davleniya [Promising means of fire extinguishing agents using high-pressure installations]. *Journal of Civil Protection*, 2019. Vol. 3, No 3. Pp. 283–290. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2019.3-3.283.