

**А.В. КОСОЛАПОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация

**В.А. ЗИМНЮКОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
Российский государственный аграрный университет имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

## **АНАЛИЗ СТОЙКОСТИ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ СВЕРЛЕНИИ БЕТОНА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

*Лидирующее место по применению бетона в строительных конструкциях занимает гидротехническое строительство (до 75%). В работе приведен анализ вопросов, связанных с производством работ по алмазным технологиям при выполнении работ по ремонту, реконструкции и демонтажу бетонных гидротехнических сооружений. На первом этапе дана оценка себестоимости алмазного инструмента с применением полученных зависимостей по определению стоимости инструмента и количества алмазных коронок. Рассмотрены также различные факторы, влияющие на стойкость алмазного инструмента: 1. класс бетона; 2. правильное крепление станины сверлильной машины; 3. влияние нагрузки на двигатель на стойкость и скорость проходки; 4. качество и количество охлаждающей жидкости.*

*На основании полученных результатов даны рекомендации по повышению стойкости и снижению себестоимости алмазного инструмента.*

*Алмазные технологии, коронка, стойкость инструмента, скорость проходки, охлаждающая жидкость, охлаждающая жидкость, колонковое сверление, канатная резка, класс бетона.*

**Введение.** Доля применения бетона в строительных конструкциях в настоящее время колеблется в пределах 60-75% от общей массы строительных материалов. Лидирующее место в этом объеме занимает гидротехническое строительство. При выполнении работ по ремонту, реконструкции и строительству новых объектов особую роль играет применение алмазных технологий по сверлению и резке бетона. Использование этих технологий для изготовления отверстий на большую глубину (до 40 метров) или большого диаметра (до 2 метров – с помощью колонкового сверления и до 9 метров с помощью канатной резки) позволяет решать инженерные задачи, не разрешимые другими методами. Если принять во внимание полное отсутствие динамических нагрузок при выполнении этих работ, а также 100% гарантию отсутствия трещинообразования в теле бетона после изготовления отверстия или проема, то можно говорить об уникальности применения алмазного сверления и резки в гидротехнике.

**Методы оценки себестоимости алмазного инструмента.** При рассмотрении вопросов, связанных с производством

работ по алмазным технологиям, необходимо остановиться на себестоимости алмазного инструмента.

При расчете себестоимости алмазного сверления стоимость инструмента, необходимого на выполнение работ, берется по формуле:

$$C_{\text{ал.инстр}} = c_{\text{ед.кор}} \cdot N_{\text{кор}}, \quad (1)$$

где  $c_{\text{ед.кор}}$  – цена единичной коронки;  $N_{\text{кор}}$  – количество коронок, необходимое для выполнения работ.

Количество коронок определяем:

$$N_{\text{кор}} = \frac{H}{l_{\text{ед.кор}}}, \quad (2)$$

где  $H$  – общая глубина сверления;  $l_{\text{ед.кор}}$  – стойкость одной коронки, определяемая как произведение стойкости алмазного сегмента на его высоту.

Анализ графика позволяет вывести следующую зависимость:

$$l_{\text{ед.кор}} = 5,8 \cdot (0,998)^x = 5,8 \cdot e^{-0,00194x} \quad (3)$$

Для удобства пользования зависимость стойкости алмазного инструмента от прочности бетона представлена в табличной форме (табл. 1).

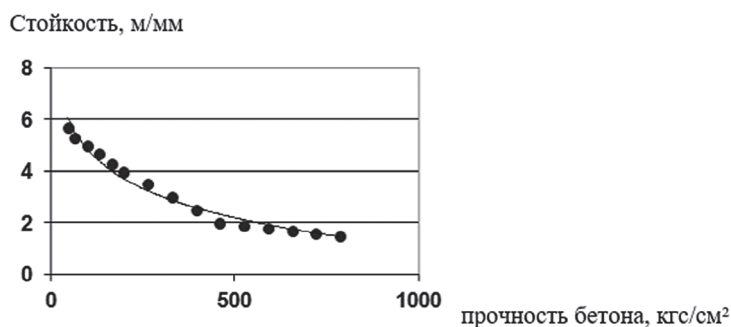


Рис. 1. Зависимость стойкости сегмента от прочности бетона

Таблица 1  
Зависимость стойкости алмазного инструмента от прочности бетона

Класс бетона	Стойкость алмазного сегмента, м/мм.
V3,5	5,7
V5	5,3
V7,5	5,0
V10	4,7
V12,5	4,3
V15	4,0
V20	3,5
V25	3,0
V30	2,5
V35	2,0
V40	1,9
V45	1,8
V50	1,7
V55	1,6
V60	1,5

**Результаты оценки факторов, влияющих на стойкость алмазного инструмента**

Особую роль правильное крепление станины сверлильной машины имеет с точки зрения стойкости алмазного инструмента. Надежно зафиксированная машина позволяет избежать бокового биения коронки, которое приводит к повышенному износу алмазных сегментов. При биении площадь контакта сегментов и материала возрастает. Происходит фрезерование бетона, алмазный сегмент расходуется, а глубина просверленного отверстия изменяется не значительно. На рисунке 2 приведен внешний вид отверстия после сверления закрепленной и незакрепленной машиной.

Влияние нагрузки на двигатель на стойкость и скорость проходки при увеличении нагрузки на инструмент (рис. 3).

При выполнении работ по алмазному сверлению операторы сверлильных машин, работающие по сдельной форме оплаты труда, стремятся увеличить скорость проходки, а соответственно, и выработку за счет приложения большего усилия к ручке подачи алмазной коронки. Результатом этого становится снижение оборотов двигателя за счет повышения фрикционной нагрузки на алмазные сегменты и повышение силы тока с 10-12 до 12-14 А. Дальнейший рост силы тока пресекается автоматикой, установленной на электродвигателе. Эксперимент проводился с коронкой Ø 82 V66 (Tyrolit) / мотор: Weka DK22, 2,3 кВт. Стойкость инструмента упала на 53,84%, а скорость проходки возросла на 27,5%, то есть себестоимость работ выросла почти в два раза. Таким образом, можно сказать, что при превышении давления в 5 кгс на рукоятку управления перемещением двигателя происходит перерасход алмазного инструмента, при временном выигрыше в скорости

При рассмотрении примера сверления 200 отверстий на глубину 0,7 м можно подсчитать затраты на алмазный инструмент. При высоте сегмента 7 мм и прочности бетона V25-327 кгс/кв. см и стойкости (по табл. 1) 3 м/мм, стойкость коронки составит  $3 \times 7 = 21$  метр.

При глубине одного сверления 0,7 метра и общем количестве отверстий 200 штук общее количество сверления составит:  $0,7 \cdot 200 = 140$  метров. При стойкости одной коронки 21 метр, получаем  $\frac{140}{21} = 6,67$  коронки, т.е. 7 штук, при цене коронки диаметром 120 мм в 4800 рублей получаем общие затраты на инструмент:  $7 \times 4800 = 33600$  рублей или 39648 рублей с НДС.

Стоимость данных работ по договорным ценам составит 504000 руб., а в ФЕР – 1080408 с НДС.

проходки. Временным он является из-за перегрева двигателя и его автоматического отключения, при этом процесс остывания

двигателя занимает намного больше времени, чем его выигрывается на увеличении темпа проходки.

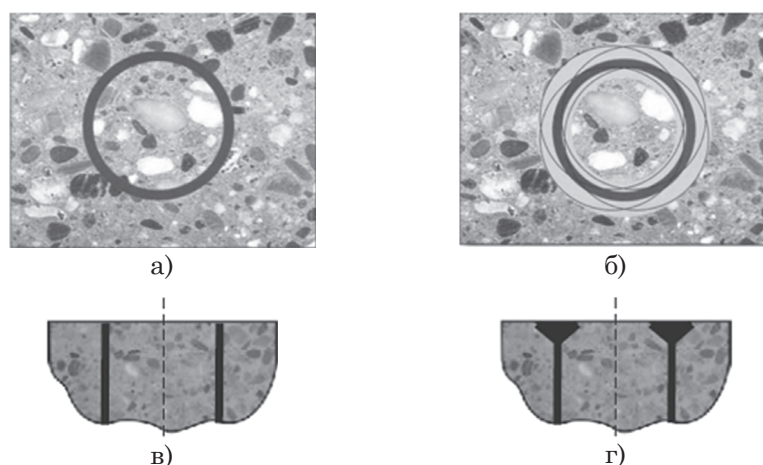


Рис. 2. Внешний вид отверстия при сверлении закрепленной и незакрепленной машиной:

- а) закрепленная машина; б) неправильно закрепленная машина;  
в) закрепленная машина; г) неправильно закрепленная машина

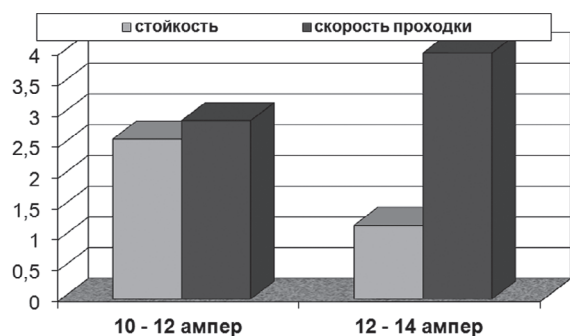


Рис. 3. Влияние нагрузки на двигатель на стойкость и скорость проходки при увеличении нагрузки на инструмент

Рассмотрим влияние числа оборотов двигателя на стойкость инструмента. При постепенном изменении оборотов двигателя от 500 до 3000 1/мин показывает динамику характерную для данного процесса (рис. 4).

Если на графике данной зависимости для коронки  $\varnothing 18$  B60 (Tyrolit) / мотор: Weka DK22, 2,3 кВт мы наблюдаем стабильный рост стойкости, то при рассмотрении аналогичного графика для коронок чуть большего диаметра видно, что картина имеет уже иной характер.

При сверлении коронкой  $\varnothing 82$  B66 (Tyrolit) / мотор: Weka DK22, 2,3 кВт в первом случае с оборотами 580 об/мин и линейной скоростью 2,5 м/с, а во втором случае с оборотами 890 об/мин и линейной скоростью 3,8 м/с становится ясно, что увеличение

линейной скорости приводит не только к увеличению стойкости, но и к снижению скорости проходки (рис. 5). И это относится как к сверлению самого бетона, так и к сверлению арматуры, заложенной в нем. Общая скорость проходки падает на 25%: при проходке по бетону на 20%, а по арматуре на 30%.

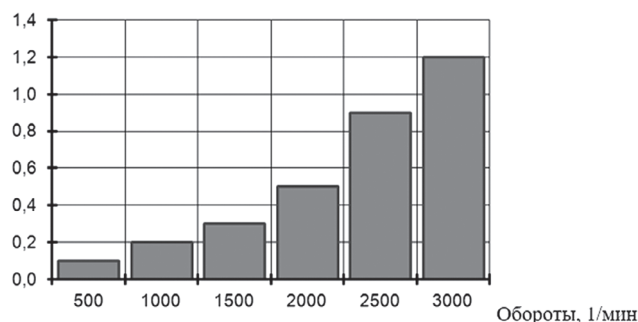


Рис. 4. Влияние линейной скорости на стойкость по бетону с кварцевым наполнителем

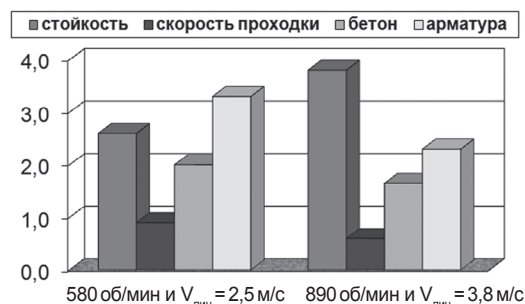


Рис. 5. Зависимость стойкости и скорости проходки от линейной скорости

Таблица 2

**Рекомендуемый объём охлаждающей жидкости в зависимости от диаметра коронки (мм)**

Диаметр коронки, мм	Количество воды, л/мин
20	0,5-1
30	
40	1-2
52	
62	2-3
72	
82	
107	3-4
122	
142	
162	
182	4-5
212	
250	
300	6-8
400	
500	8-12

Еще одним из факторов влияния на стойкость алмазного инструмента является количество охлаждающей жидкости. Как видно на графике (рис. 6) зависимости стойкости коронок от объема охлаждающей жидкости (в данном случае – воды), максимальная стойкость наблюдается при полном соответствии рекомендованному объему (табл. 2).

Характер графика на рисунке 6 объясняется тем, что в процессе хрупкого микро-резания бетона уже разрушенные алмазы попадают в зону реза и принимают вторичное участие в процессе. При избыточном количестве воды они вымываются из этой зоны и отводятся вместе со шламом. При недостатке воды отвод самого шлама (разрушенные частицы бетона с водой) осуществляется недостаточно и шлам мешает процессу резки. На практике осуществление контроля за объемом воды в зоне сверления легко проводить визуально даже без измерительных приборов. При достаточном количестве воды отводимый шлам будет похож на разбавленное молоко. При недостаточном количестве воды – на неразбавленное молоко, а при избыточном на мутную воду.

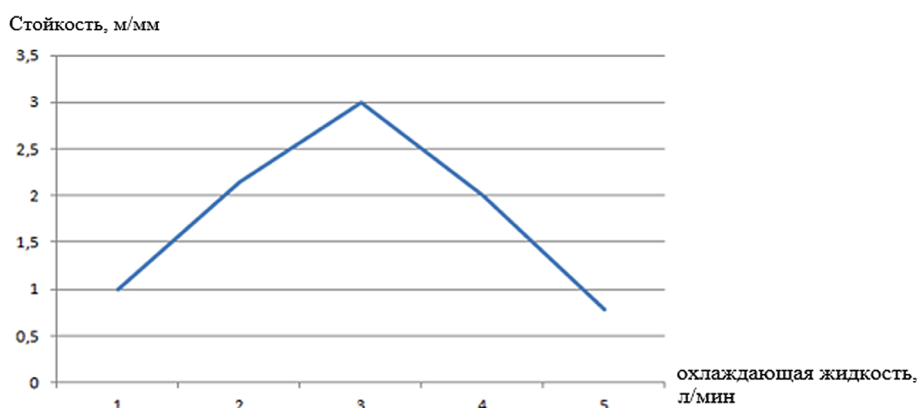


Рис. 6. Зависимость стойкости от количества охлаждающей жидкости

**Выводы**

Из вышеизложенного материала можно сделать выводы, которые позволят лучше всего обозначить факторы, влияющие на стойкость инструмента:

1. Класс бетона, его прочность: чем выше прочность, тем меньше стойкость и ниже скорость проходки.
2. Фиксация сверлильной машины: фиксация на поверхности сверления должна быть жесткой, в противном случае возникает паразитный рез, который резко сокращает стойкость инструмента.
3. Нагрузка на инструмент: нагрузка менее 5 кгс на рукоятку приводит к полированию

алмаза в сегменте, более 5 кгс на рукоятку – к снижению стойкости более чем на 50%.

4. Линейная скорость: повышение линейной скорости увеличивает стойкость, но сокращает производительность.

5. Количество охлаждающей жидкости: при ее избытке или нехватке сокращается стойкость сегмента.

**Библиографический список**

1. Зерцалов М.Г., Косолапов А.В. Использование технологии алмазной резки и сверления бетона и железобетона в гидротехническом строительстве. // Гидротехническое строительство. – 2008. – № 4. – С. 19-24.

2. **Косолапов А.В.** Основы алмазной техники и технологии в строительстве. – М.: АСВ, 2004. – 170 с.

Материал поступил в редакцию 31.01.2019 г.

#### Сведения об авторах

**Косолапов Андрей Владимирович**, к.т.н., доцент кафедры механики грунтов

и геотехники ФГБОУ ВО (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: KosolapovAV@mgsu.ru

**Зимнюков Владимир Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры гидротехнические сооружения ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, Б. Академическая, 44; e-mail: moo\_abh@mail.ru

#### A.V. KOSOLAPOV

Federal state budgetary educational institution of higher education National research Moscow state building university, Moscow, Russian Federation

#### V.A. ZIMNYUKOV

Federal state budgetary educational institution of higher education Russian state agrarian university named after C.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation

## ANALYSIS OF THE DURABILITY OF DIAMOND TOOL WHEN DRILLING CONCRETE OF HYDRAULIC STRUCTURES

*Hydraulic construction takes the leading place in the application of concrete in building structures (up to 75%). The paper presents an analysis of issues related to the production of works on diamond technologies in the performance of work on the repair, reconstruction and dismantling of concrete hydraulic structures. At the first stage there is given a cost assessment of the diamond tool by applying the obtained dependencies on determination of the cost of the tool and a number of diamond crowns. There are also considered various factors affecting the durability of diamond tools: 1. class of concrete; 2. correct fastening of the bed of the drilling machine; 3. load influence on the engine, durability and penetration rate; 4. quality and quantity of coolant. Based on the results obtained, recommendations were given on increasing durability and reducing the cost of a diamond tool.*

*Diamond technology, crown, tool life, penetration rate, coolant, core drilling, cable cutting, concrete class.*

#### References

1. **Zertsalov M.G., Kosolapov A.V.** Ispolzovanie tehnologii almaznoj rezki i sverleniya betona i zhelezobetona v gidrotehnicheskoy stroitelstve. // Gidrotehnicheskoye stroitelstvo. – 2008. – № 4. – S. 19-24.

2. **Kosolapov A.V.** Osnovy almaznoj tehniki i tehnologii v stroitelstve. – M.: ASV, 2004. – 170 s.

The material was received at the editorial office 31.01.2019 g.

#### Information about the authors

**Kosolapov Andrej Vladimirovich**, candidate of technical sciences, associate professor of the department of soils and geotechnics FSBEI HE (NIU MGSU); 129337, Moscow, Yaroslavl'shosses, 26; e-mail: KosolapovAV@mgsu.ru

**Zimnyukov Vladimir Anatoljevich**, candidate of technical sciences, associate professor of the department of hydraulic engineering structures FSBEI HE RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev; 127550, B. Akademicheskaya, 44; e-mail: moo\_abh@mail.ru