



Math-Net.Ru

All Russian mathematical portal

V. V. Ivanov, S. V. Ivanov, V. V. Ivanov, Simulation experimental research on the magnitude of metal removal from regimes waterjet processing using information technologies,

*Comp. nanotechnol.*, 2015, Issue 4, 74–78

<https://www.mathnet.ru/eng/cn55>

Use of the all-Russian mathematical portal Math-Net.Ru implies that you have read and agreed to these terms of use

<https://www.mathnet.ru/eng/agreement>

Download details:

IP: 18.97.14.90

May 24, 2025, 22:03:03



## 5.2. ИМИТАЦИОННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ СЪЕМА МЕТАЛЛА ОТ РЕЖИМОВ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*Иванов Виктор Викторович, аспирант кафедры «Технология машиностроения», ассистент кафедры «Строительные и дорожные машины и оборудование» Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.». E-mail: viktor\_ivanov\_61@mail.ru*

*Иванов Сергей Викторович, ассистент кафедры «Строительные и дорожные машины и оборудование» Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.». E-mail: serezha\_ivanov\_vik@mail.ru*

*Иванов Владимир Викторович, студент специальности «Наземные транспортно-технологические средства» Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.». E-mail: ivanov.vladimir.2014.polytech@mail.ru*

Аннотация: Приведены результаты имитационных экспериментальных исследований по установлению величины съема обрабатываемого материала за один удар абразивной частицы от изменения текущего внутреннего радиуса водяного сопла  $r$ , начального весового секундного расхода жидкости  $Q_1$ , начального весового секундного расхода абразива  $Q_2$  и начальной скорости струи  $v_0$  при гидроабразивной резке стали 20 ГОСТ 1050-88 и 30ХГСА ГОСТ4543-71.

Ключевые слова: имитационное моделирование, гидроабразивная резка, статистический анализ, объектно-ориентированное программирование, абразив, математическая модель.

## SIMULATION EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE MAGNITUDE OF METAL REMOVAL FROM REGIMES WATERJET PROCESSING USING INFORMATION TECHNOLOGIES

*Ivanov Viktor Viktorovich, Postgraduate Department of Technology of Mechanical Engineering, a.P. Department of Building and Road Machines and Equipment The Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. E-mail: viktor\_ivanov\_61@mail.ru*

*Ivanov Sergei Viktorovich, a.P. Department of Building and Road Machines and Equipment The Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. E-mail: serezha\_ivanov\_vik@mail.ru*

*Ivanov Vladimir Viktorovich, student specialty "Ground transportation and technology» The Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. E-mail: ivanov.vladimir.2014.polytech@mail.ru*

Abstract: Shows the results of simulation experimental research to establish the magnitude of material removal in one blow the abrasive particles from the inner radius to change the current water nozzles  $r$ , primary weight second liquid flow  $Q_1$ , weight, initial second initial speed  $Q_2$  and abrasive flow jet  $v_0$  with waterjet cutting steel 20 GOST 1050-88 and 30ХГСА GOST4543-71.

Index terms: simulation, waterjet cutting, statistical analysis, object-oriented programming, abrasive, mathematical model.

---

Разработанный программный комплекс «Jet of Норе» представляет интеллектуальную информационную систему по определению рациональных параметров процесса гидроабразивного резания включающий ввод и корректировку технологических параметров обработки, моделирование про-

цесса резания, генерацию и отображение информационного блока о результатах моделирования процесса обработки [1-4].

Задача исследований сводилась к установлению величины съема обрабатываемого материала за один удар абразивной частицы от изменения текущего внутреннего радиуса

водяного сопла  $r$ , начального весового секундного расхода жидкости  $Q_1$ , начального весового секундного расхода абразива  $Q_2$  и начальной скорости струи  $U_0$ .

Для имитационных исследований процесса гидроабразивной обработки использовались материалы сталь 20 ГОСТ 1050-88 и 30ХГСА ГОСТ4543-71.

Принимая во внимание информацию по оптимальным режимам гидроабразивного резания, имитационные экспериментальные исследования проводились при следующих режимах обработки: концентрация частиц абразива на оси струи  $10 \text{ м}^{-3}$ , начальная скорость жидкости  $900 \text{ м/с}$ , начальная скорость примеси  $10 \text{ м/с}$ , расстояние от сопла до обрабатываемой поверхности  $1 \text{ мм}$ , средний диаметр частиц абразива  $0,25 \text{ мм}$ , плотность частиц абразива  $0,0042 \text{ г/мм}^3$ , коэффициент несущей способности контактной поверхности  $1$  и механические свойства стали 20 и 30ХГСА. Закладывание режимов обработки процесса гидроабразивного резания производилось посредством компьютерного имитационного моделирования на программном комплексе «Jet of Nore».

По результатам проведенных имитационных исследований получены графики, отражающие зависимость величины съема обрабатываемого металла за один удар абразивной частицы  $q$  от режимов гидроабразивной обработки вследствие закручивания струи и процесса гидроабразивной обработки, протекающего в обычных условиях (без закручивания гидроабразивной струи) [5, 6, 7].

Графическая зависимость, представленная на рисунке 1, показывает, что величина съема обрабатываемого материала за один удар абразивной частицы достигает некоторого максимального значения  $q = 1,019 \text{ мм}$  при текущем внутреннем радиусе водяного сопла  $r = 0,127 \text{ мм}$ , а затем уменьшается по гиперболической зависимости до значения  $q = 1,0022 \text{ мм}$  при  $r = 0,227 \text{ мм}$ , после чего сохраняет стабилизационный характер.

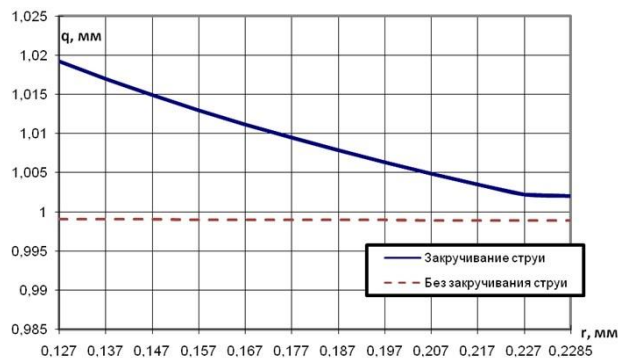


Рисунок 1. Влияние текущего внутреннего радиуса водяного сопла  $r$  на величину съема обрабатываемого материала за один удар абразивной частицы  $q$

Несколько меньшее влияние оказывает съем металла струей без закручивания, т.к. величина съема металла  $q$  сохраняет стабильное состояние и остается неизменной  $q = 0,999057 \text{ мм} = \text{const}$  при изменении текущего внутреннего радиуса водяного сопла  $r$  в процессе обработки.

В результате анализа графика зависимости, можно отметить, что снижение динамического давления происходит по кривой Гаусса; увеличивается когерентность струи путем её закручивания. Кроме того, несмотря на увеличение величины съема металла при воздействии гидроабразивной струи путем её закручивания по сравнению со струей без закрутки увеличение диаметра сопла почти не меняет удельного давления, так как увеличивается площадь контактирования струи с обрабатываемой поверхностью материала (сталь 30ХГСА и 20). Это факт объясняется наличием изменений в структуре потока рабочей жидкости, как в гидроабразивном оборудовании, так и сопле. Значит, распад струи, сформированный на основе способа закручивания струи рабочей жидкости, происходит менее интенсивно, чем струи отражающей процесс гидроабразивной обработки, протекающий в обычных условиях (без закручивания гидроабразивной струи). Следовательно, это позволяет утверждать о высокой стабильности струи и увеличении расстояния между соплом и обрабатываемой

поверхностью материала не повлияет на потерю разрушающей способности струи.

Графическая зависимость, представленная на рисунке 2, показывает, что, величина съема материала за один удар абразивной частицы достигает некоторого максимального значения  $q = 1,019 \text{ мм}$  при начальном весовом секундном расходе жидкости  $Q_1 = 1,92 \text{ л/мин}$ , а затем уменьшается до значения  $q = 1 \text{ мм}$  при  $Q_1 = 6,23 \text{ л/мин}$ .

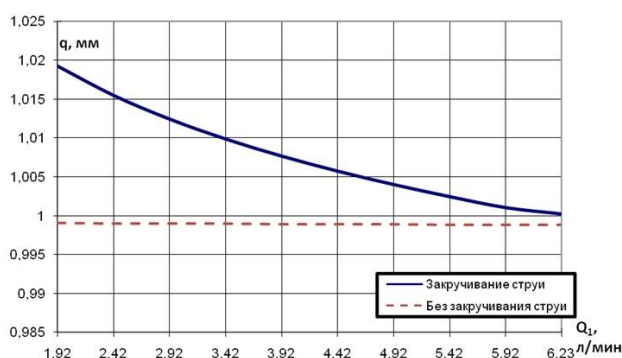


Рисунок 2. Влияние начального весового секундного расхода жидкости  $Q_1$  на величину съема обрабатываемого материала за один удар абразивной частицы  $q$

Несколько меньшее влияние оказывает съем металла струей без закручивания, т.к. величина съема металла  $q$  сохраняет стабильное состояние и остается неизменна  $q = 0,99908 \text{ мм} = const$  при изменении начального весового секундного расхода жидкости  $Q_1$  в процессе обработки стали 30ХГСА и стали 20. Следовательно, можно сделать вывод о том, что изменение величины съема металла путем закручивания струи происходит менее интенсивно, чем струи без закручивания. Это свидетельствует о том, что струя сохраняет высокую кинетическую энергию в процессе резания путем высокой компактности и малой подверженности распаду.

Графическая зависимость, отображенная на рисунке 3, показывает, что изменение величины съема достигает некоторого максимального значения  $q = 1,039 \text{ мм}$  при начальном весовом секундном расходе абразива  $Q_2 = 1070 \text{ гр/мин}$ .

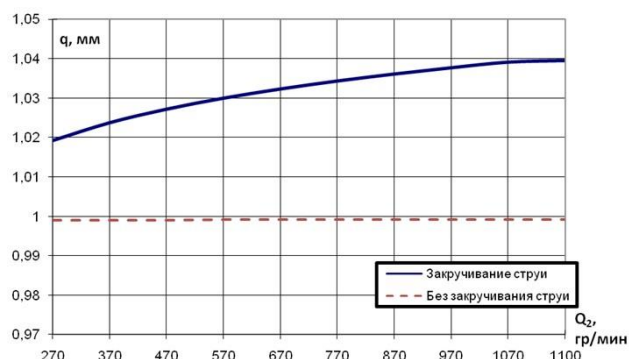


Рисунок 3. Влияние начального весового секундного расхода абразива  $Q_2$  на величину съема обрабатываемого материала за один удар абразивной частицы  $q$

Анализ графика показывает, что изменение величины съема к обрабатываемому материалу практически прямо пропорционально увеличению начального весового секундного расхода абразива. Однако необходимо отметить, что при увеличении начального весового секундного расхода абразива по степенной зависимости происходит увеличение расхода жидкости через сопло, создавая предпосылки к ощутимому росту энергоемкости процесса гидроабразивного резания. Несколько меньшее влияние оказывает съем металла струей без закручивания, т.к. величина съема металла  $q$  сохраняет стабильное состояние и остается неизменна  $q = 0,999208 \text{ мм} = const$  при изменении начального весового секундного расхода абразива  $Q_2$  в процессе обработки.

Исходя из анализа графической зависимости, можно сделать вывод о том, что изменение величины съема металла путем закручивания струи происходит менее интенсивно, чем струи без закручивания. Это позволяет говорить о высокой стабильности струи без потери разрушающей способности в случае увеличения расстояния между соплом и обрабатываемым материалом.

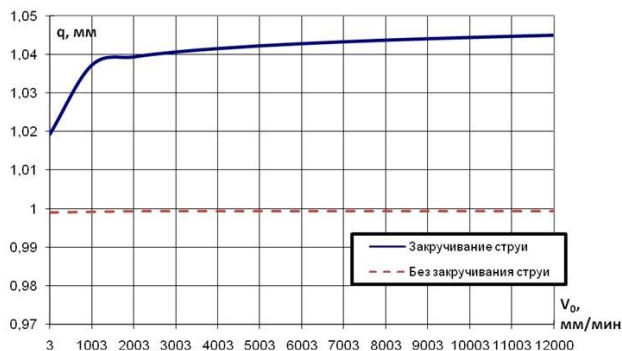


Рисунок 4. Влияние начальной скорости струи  $v_0$  на величину съема обрабатываемого материала за один удар абразивной частицы  $q$

Графическая зависимость, отображенная на рисунке 4, показывает, что изменение величины съема материала от начальной скорости струи  $v_0$  происходит по экспоненциальному закону до значения  $q = 1,037$  мм при  $v_0 = 1003$  мм/мин, а затем происходит увеличение  $q$  по прямо пропорциональной зависимости путем достижения некоторого максимальной величины  $q = 1,045$  мм при  $v_0 = 12000$  мм/мин. Это объясняется тем, что увеличение скорости струи происходит путем снижения турбулентности потока, т.к. струя рабочей жидкости в гидроабразивном сопле распространяется не по микронеровностям внутренней поверхности сопла, а по вязкому подслою вследствие закручивания струи путем нарезанной в смесительной трубке спиралеобразной канавки, что также увеличивает её скорость.

Несколько меньшее влияние оказывает съем металла струей без закручивания, т.к. величина съема металла  $q$  сохраняет стабильное состояние и остается неизменна  $q = 0,99908$  мм = const на всем изменении начальной скорости струи  $v_0$  в процессе обработки.

При проведении серии имитационных экспериментальных исследований для определения оптимизации рациональных параметров гидроабразивной обработки вследствие закручивания струи, можно сделать следующие выводы.

Во-первых, экспериментально установлена эффективность применения процесса гидроабразивной обработки основанного на закручивании струи.

Во-вторых, после обработки результатов имитационного эксперимента были получены графики, отражающие зависимость величины съема обрабатываемого металла за один удар абразивной частицы  $q$  от основных параметров процесса  $r$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$  и  $v_0$ . Полученные графические зависимости наглядно отражают взаимосвязь и степень влияния режимов гидроабразивной обработки на параметры оптимизации. Устанавливая при этом, что производительность процесса гидроабразивной обработки в результате закручивания гидроабразивной струи выше, чем струи без закручивания. Поэтому применение струи с закруткой, выгодно с позиции увеличения коэффициента полезного действия процесса и снижения удельной энергоемкости по сравнению со струей без закручивания. Ввиду этого, полученные зависимости могут быть применены для интенсификации технологического процесса гидроабразивной обработки.

В-третьих, с учетом проведенных имитационных исследований и изученной априорной информации получены рациональные режимы гидроабразивной обработки вследствие закручивания струи рабочей жидкости: внутренний радиус водяного сопла  $r = 0,127$  мм, начальный весовой секундный расход жидкости  $Q_1 = 1,92$  л/мин, начальный весовой секундный расход абразива  $Q_2 = 1100$  гр/мин и начальная скорость струи  $v_0 = 12000$  мм/мин. В результате имитационных экспериментальных исследований определены параметры гидроабразивной резки при обработке стали 20 и 30ХГСА:  $q = 1,030$  мм при которых производительность технологического процесса достигнет максимального значения.

**Список литературы:**

1. Иванов В. В., Решетников М. К., Тихонов А. В. Программный комплекс «Jet of Nore» для прогнозирования результатов гидроабразивной резки в технологическом процессе. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014617130, 14.07.2014 г.

2. Иванов, В. В. Компьютерное имитационное моделирование процесса гидроабразивного резания / В. В. Иванов, М. К. Решетников // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2015. – №2(79). – С. 46-49.

3. Иванов, В. В. Разработка автоматизированного программно-аппаратного комплекса для интеллектуальной поддержки и оптимальной настройки гидроабразивных станков с чпу / В.В. Иванов, Вл.В. Иванов // Металлообрабатывающие комплексы и робототехнические системы – перспективные направления научно-исследовательской деятельности молодых ученых и специалистов: Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции (19-20 июня 2015 года) / редкол.: Гречухин А.Н (отв. редактор); Юго-Западный гос. ун-т, Курск. – 2015. – С. 73-77.

4. Иванов В. В. Разработка автоматизированного программно-аппаратного комплекса для интеллектуальной поддержки и оптимальной настройки гидроабразивных станков с числовым программным управлением // Computational nanotechnology. 2015. №2. С. 55-61.

5. Иванов, В. В. Оценка адекватности имитационной модели процесса гидроабразивного резания / В.В. Иванов, С.В. Иванов, Вл.В. Иванов // Инновации в металлообработке: взгляд молодых специалистов [Текст]: Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции (2-3 октября 2015 года) / редкол.: Чевычелов С.А. (отв. редактор); Юго-Западный гос. ун-т, Курск. – 2015. – С. 154-158.

6. Иванов В. Разработка программного комплекса для поддержки и настройки гидроабразивных станков с ЧПУ // Проблемы и инновации в области механизации и технологий в строительных и дорожных отраслях : сб.науч.трудов по материалам конф. Выпуск 1(1). Иваново: Научный мир. 2015. С. 95-99.

7. Иванов, В. В. Программный комплекс как рабочий инструмент для организации технологического процесса гидроабразивной обработки / В.В. Иванов, С.В. Иванов, Вл.В. Иванов // Безопасность и проектирование конструкций в машиностроении [Текст]: Сборник научных трудов Международной

научно-технической конференции (25-26 сентября 2015 года) / редкол.: Разумов М.С. (отв. редактор); Юго-Западный гос. ун-т, Курск. – 2015. – С. 242- 46.

**РЕЦЕНЗИЯ**

В статье авторы на основе имитационного моделирования приводят результаты имитационных экспериментальных исследований по установлению величины съема обрабатываемого материала за один удар абразивной частицы от изменения режимов при гидроабразивной резке.

Актуальность статьи не вызывает сомнения, поскольку имитационное моделирование технологического процесса гидроабразивной обработки является важной проблемой в развитии научно-технической политики государства и структурного преобразования в сфере машиностроения, формируя производственную потребность в создании и промышленном изучении способов резания современных конструкционных материалов, которые обеспечивают повышение производительности, точности и качества поверхностей резания.

В работе обосновывается необходимость и допустимость применения оптимального методологического подхода к исследованию процесса гидроабразивного резания посредством математического моделирования с целью повышения производительности обработки материала. Статья выполнена на высоком научном уровне, содержит ряд выводов, представляющих практический интерес.

Данная статья рекомендуется для публикации в открытой печати.

Доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой «Автоматизация,  
управление, мехатроника»,  
СГТУ имени Гагарина Ю.А.

А.А. Игнатьев