

УДК: 519.677

## Компьютерное моделирование разгона гироскопического стабилизатора для расточной головки

А. Ю. Горелова<sup>а</sup>, В. Н. Стяжин, М. Г. Кристаль

Волгоградский государственный технический университет, машиностроительный факультет,  
Россия, 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, д. 28

E-mail: <sup>а</sup> forasyoo@gmail.com

*Получено 23 апреля 2014 г.*

В статье приведена конструктивная схема предложенного устройства гироскопической стабилизации расточной головки. Описана компьютерная модель гидрореактивного гироскопа этого устройства, постановка задачи компьютерного моделирования и его результаты.

Ключевые слова: обработка глубоких отверстий, устройство стабилизации расточного инструмента

## Computer Simulation of the Acceleration of the Gyroscopic Device for Boring Head's Position Stabilization

A. Yu. Gorelova, V. N. Stiazhin, M. G. Kristal

*Volgograd State Technical University, 28 Lenina avenue, Volgograd, 400005, Russia*

**Abstract.** — Given paper covers the structure of the introduced device stabilizing the boring tool. The computer model of the hydrojet gyroscopic device is described; problem definition and the results of simulation are given.

Keywords: deep hole boring, tool's position stabilizing device

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2014, vol. 6, no. 4, pp. 569–575 (Russian).

## Проблемы обработки глубоких отверстий

Обработка глубоких отверстий является одной из достаточно сложных операций в машиностроении. Трудность возрастает с увеличением протяженности глубокого отверстия, так как происходит развитие погрешностей. В этом случае сказывается большое влияние технологической наследственности. Характерными погрешностями в продольном сечении являются увод, непрямолинейность оси обрабатываемого отверстия, корсетность, конусность, бочкообразность [Драчев и др., 2010]. В поперечном сечении возникает огранка и овальность. Зарубежные авторы [Biermann et al., 2009; Weinert et al., 2007] выделяют явление, при котором профиль представляет собой многогранную фигуру с числом граней, иногда изменяющимся по длине отверстия, а вершины многогранника при этом часто располагаются по винтовой линии. Такой вид дефекта называют спиральностью.

Одной из основных причин появления описанных погрешностей является возникновение колебательных процессов в системе «станок–приспособление–инструмент–заготовка» (СПИЗ). Колебания возникают с начала процесса обработки и сопровождают его до завершения. От вида и амплитуды этих колебаний зависит качество обрабатываемой поверхности. Среди причин их возникновения выделяют [Драчев и др., 2010]: неравномерность твердости материала заготовки по сечениям, неправильное направление инструмента в начале обработки; несимметричность и низкое качество заточки инструмента; копирование расточным инструментом погрешности расположения оси отверстия, поперечные колебания заготовки из-за ее деформации при установке и обработке; изгиб борштанги расточного инструмента под действием его веса, неравномерности снимаемого припуска.

Допуск на указанные погрешности имеет диапазон в зависимости от вида изделия. Для таких изделий как гильзы гидроцилиндров наиболее высокие требования к качеству касаются обработки рабочей поверхности, а именно глубокого отверстия. Это обусловлено ответственностью изделия. Гидроцилиндры входят в состав механизированной гидравлической шахтной крепи, и от их надежности напрямую зависит безопасность проведения работ в забое.

## Подходы к повышению точности обработки глубоких отверстий

Существующие методы повышения точности обработки глубоких отверстий могут быть классифицированы по следующим признакам: схеме обработки глубокого отверстия; способу подачи-отвода смазочно-охлаждающей технологической среды (СОТС); объекту использования, по физическому принципу действия.

В первую очередь эти методы различают по схеме обработки. Выделяют обработку, при которой: заготовка совершает вращательное движение, а инструмент — поступательное; заготовка совершает вращательное движение, а инструмент — одновременно вращательное (встречное) и поступательное движение подачи; заготовка неподвижна, а инструмент совершает вращательное и поступательное движения.

При этом отдельно для растачивания глубокого отверстия выделяют растачивание с растяжением борштанги и растачивание с ее сжатием.

Также методы обработки глубокого отверстия подразделяют на группы в зависимости от способа отвода стружки [Weinert et al., 2007]:

ELB сверление (расточка) однолезвийным инструментом (пушечное сверло). При этом подвод СОТС осуществляют через внутренние отверстия в инструменте, а отвод отработанной СОТС вместе со стружкой — через полость между инструментом и обработанной поверхностью отверстия.

Эжекторное сверление (расточка). Характеризуется внутренне-наружным подводом СОТС. Внутренний подвод выполняют по каналу в виде кольцевого зазора в инструменте между борштангой и внутренним каналом, а поток СОТС, подаваемой насосом разделяют на два:

один направляют в зону резания, а второй поступает во внутреннюю трубку и создает эффект эжекции. Вывод СОТС вместе со стружкой осуществляют через внутренний канал.

ВТА сверление (расточка). Методы разработанные «Boring and Trepanning Association». Здесь подачу СОТС осуществляют через кольцевой зазор между борштангой и обрабатываемым отверстием, а вывод СОТС вместе со стружкой — через отверстие в борштанге.

Основным недостатком этой группы методов является необходимость применения сложного оборудования для целей обеспечения подачи СОТС под требуемым давлением, необходимой жесткости и герметичности системы СПИЗ.

По физическому принципу методы предложено разделить на три группы [Горелова и др., 2013]: управление положением инструмента, стабилизация положения инструмента и виброгашение. Каждый из указанных методов применим, как для инструмента, так и для обрабатываемой заготовки.

В рамках методов управления положением инструмента (расточной головкой или резами) применяют системы автоматического управления (САУ) положением инструмента по диагностическому сигналу от датчиков. При этом датчики могут контролировать такие параметры, как: разностенность, угловое перемещение, отклонение от первоначального положения, деформацию частей инструмента, ускорение. Также существуют устройства, включающие САУ управления положением инструмента на основе контроля совместного влияния некоторых из указанных параметров.

Методы виброгашения позволяют изменять параметры колебательных процессов, протекающих в системе СПИЗ. Они, как правило, связаны с изношенностью станка. Также возникают в самом резцедержателе в процессе обработки заготовки по причине неоднородности обрабатываемого материала и погрешности заточки лезвийного инструмента. При этом происходит неравномерный износ режущего инструмента, что приводит к потере сбалансированности расточной головки, ее отклонению от первоначального положения и снижению качества обработки.

Методы стабилизации положения детали или инструмента включают использование направляющих элементов (оправки и втулки) и устройств стабилизации. Направляющие элементы обеспечивают необходимую жесткость системы СПИЗ и базирование расточной головки относительно обрабатываемой поверхности.

## **Описание конструкции устройства гироскопической стабилизации положения расточной головки**

В рамках обозначенного направления стабилизации положения инструмента (расточной головки) авторами предложено устройство ее гироскопической стабилизации [Горелова и др., 2014].

Устройство предназначено для размещения в операционном станке и содержит вал 1 (рис. 1), головную часть 2, на которой расположен режущий инструмент. На валу 1 и соосно ему с возможностью вращения установлен гидрореактивный гироскоп 3, представляющий собой цилиндр, в котором выполнены кольцевой канал 4, не менее двух тангенциальных сопел Лаваля 5, и не менее трех радиальных отверстий 6 и торцевых отверстий 7. Он расположен так, что выходы его радиальных отверстий 6 находятся на уровне среднего сечения кольцевого канала 8 вала 1 и обеспечивают радиальный гидростатический подшипник, что позволяет снизить трение между ним и валом 1, предотвратить радиальные перемещения и поддерживать сбалансированность расточной головки, а следовательно, стабилизировать ее положение. Выходы торцевых отверстий 7 гидрореактивного гироскопа 3 расположены на уровне кольцевого канала 9 вала 1, что позволяет обеспечить торцевой гидростатический подшипник и предотвратить его осевое перемещение. Узел для подачи СОТС выполнен в виде полого цилиндра 10 и жестко закрепленной на валу 1 втулки 11, в которой выполнены отверстия 12, которые позволяют СОТС поступать в кольцевой канал 4 гидрореактивного гироскопа 3. При этом между ними

расположен торцевой лабиринтный уплотнитель 13, так что СОТС поступает напрямую в кольцевой канал 4 гидрореактивного гироскопа. Также кольцевой канал 4 соединен с соплами Лавала 5, радиальными отверстиями 6 и торцевыми отверстиями 7 гидрореактивного гироскопа 3, что позволяет СОТС одновременно поступать во все каналы и сопла. Выход СОТС под давлением из сопел Лавала приводит к раскручиванию гидрореактивного гироскопа 3. Стабилизация положения расточной головки осуществляется за счет гироскопических сил, возникающих при воздействии отклоняющих сил на ее ось.

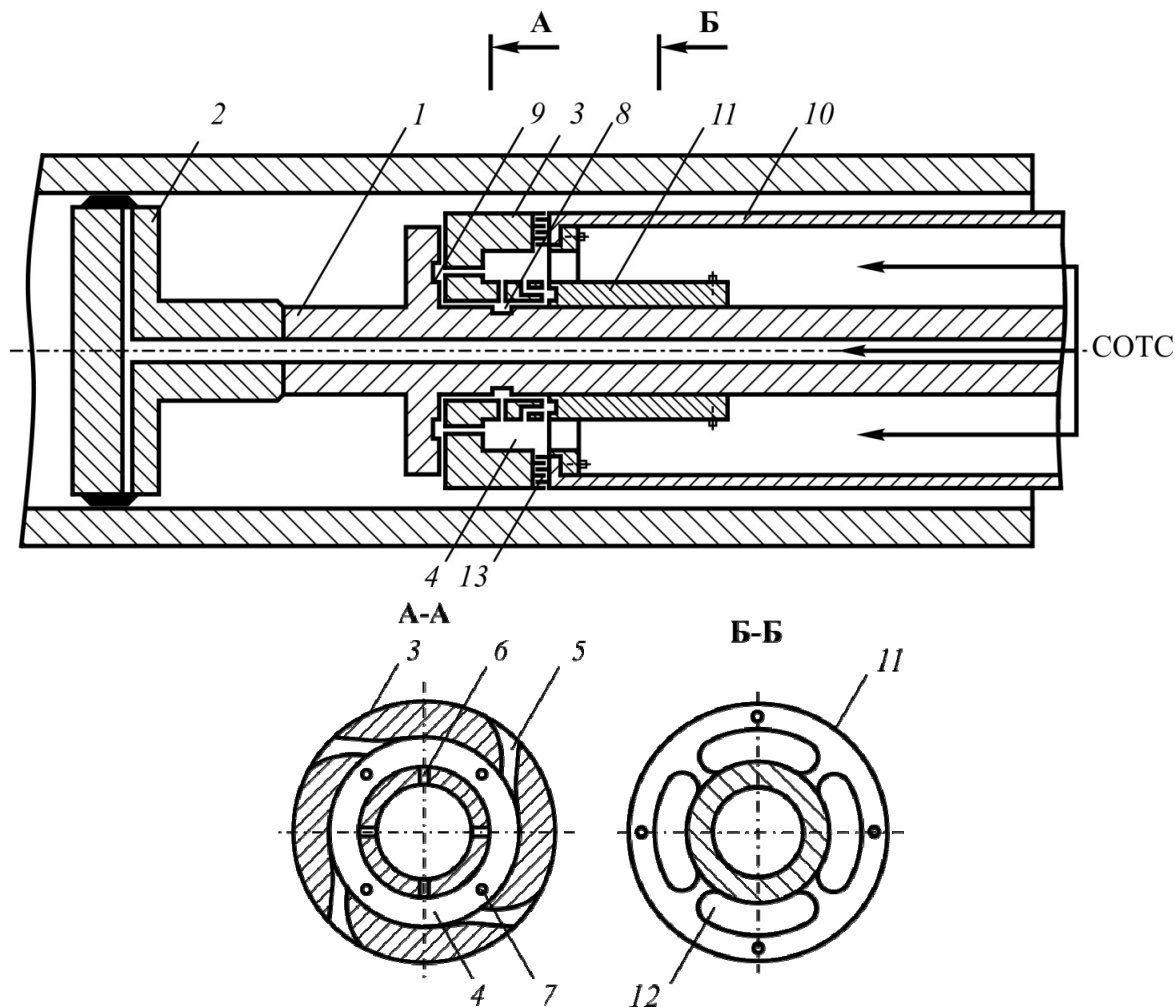


Рис. 1. Конструктивная схема устройства гироскопической стабилизации положения расточного инструмента: 1 — вал инструмента; 2 — головная часть с режущим инструментом; 3 — гидрореактивный гироскоп; 4 — кольцевой канал гироскопа; 5 — сопло Лавала; 6 — радиальное отверстие; 7 — торцевое отверстие; 8 — кольцевой канал вала; 9 — кольцевой канал фланца; 10 — цилиндр узла подачи СОТС; 11 — втулка узла подачи СОТС; 12 — отверстия для подачи СОТС; 13 — лабиринтный уплотнитель

### Описание модели гидрореактивного гироскопа устройства гироскопической стабилизации положения расточной головки

Для определения точных геометрических параметров устройства на этапе проектирования необходимо проведение натурных испытаний. Также следует исследовать параметры течения при работе устройства.

Для этих целей использовано компьютерное моделирование. Выбран программный комплекс FlowVision. Для расчетов в нем необходимо импортировать геометрические параметры,

поэтому модель гидрореактивного гироскопа и канала подвода СОТС создана в программном комплексе SolidWorks (рис. 2, 3).

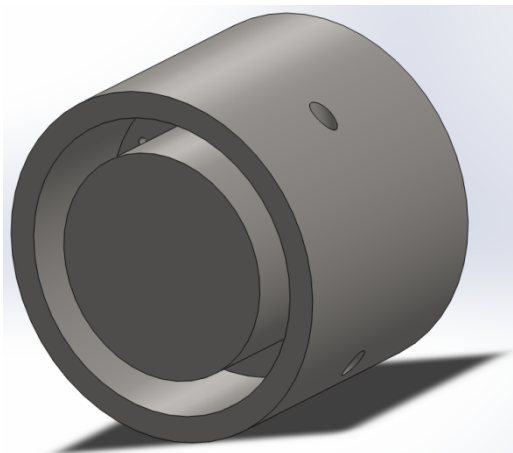


Рис. 2. Компьютерная модель гидрореактивного гироскопа

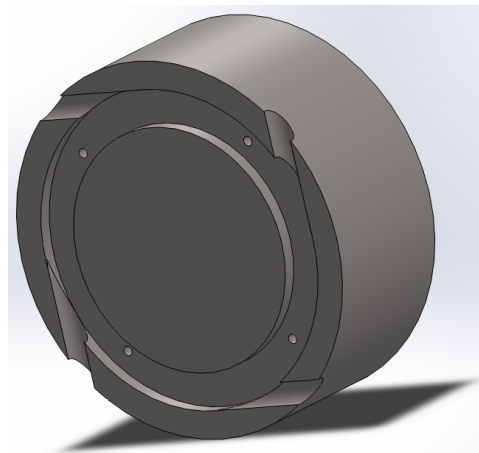


Рис. 3. Разрез модели гироскопа

Для корректного моделирования процесса подачи СОТС в кольцевой канал, внутренняя полость гидрореактивного гироскопа в модели закрыта.

На рисунке 4 изображена постановка задачи и граничные условия. Вставку гидрореактивного гироскопа осуществляют с помощью фильтра «подвижное тело» с заданной массой, координатами центра, степенями свободы, материалом. Подвижному телу «разрешено» вращение только вокруг оси  $Z$  и только под действием гидродинамических сил. Заданы: давление СОТС на входе (1 МПа), тип жидкости (вода), характер течения (ламинарный), шероховатость стенок (отсутствует), визуализация (цветовые контуры скорости). Расчетная сетка составляет 78 540 ячеек (рис. 4). Выполнена ее адаптация по поверхности подвижного тела. Для входного канала заданы граничные условия «вход под давлением» и «свободный выход».

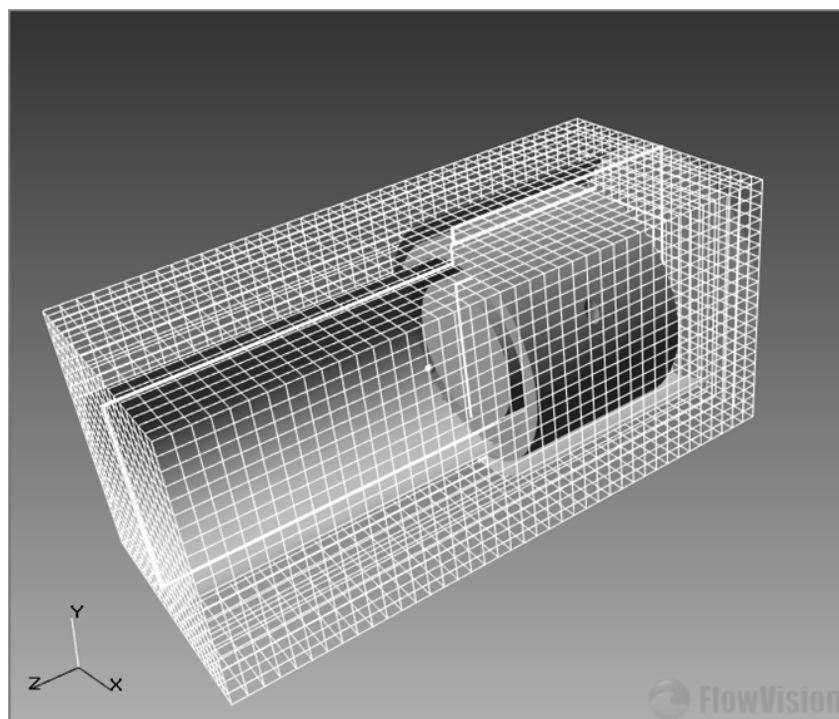


Рис. 4. Расчетная сетка задачи исследования

Задачами исследования являются:

- 1) определение угловой скорости  $\omega$  подвижного тела при заданных условиях;
- 2) определение времени разгона;
- 3) исследование зависимости угловой скорости  $\omega$  тела от величины зазора  $s$  (рис. 5).

Расчет производят по критерию «сходимость по угловой скорости». При этом первые 20 итераций производят с заданным числом Куранта  $CFL = 8E-5$  для достижения сходимости по давлению, далее с шагом по времени  $t = 0.25$  с до сходимости по значению величины угловой скорости.

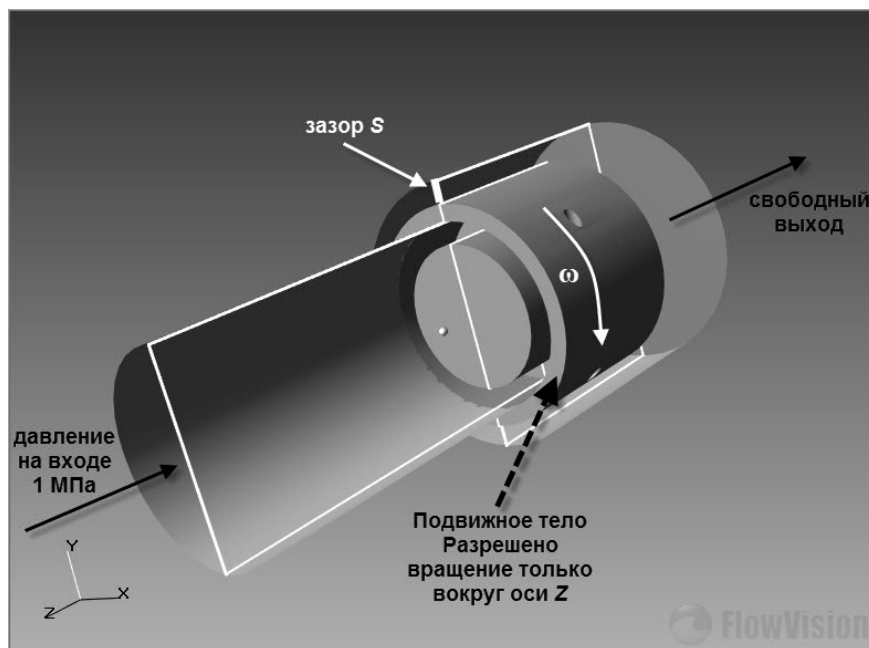


Рис. 5. Постановка задачи исследования

В результате компьютерного моделирования получено значение максимально возможной угловой скорости  $\omega$  гидрореактивного гироскопа при данных условиях. Она составила  $\omega = 741$  рад/с. При этом, время  $t$  разгона составляет  $t = 8$  с (рис. 6).

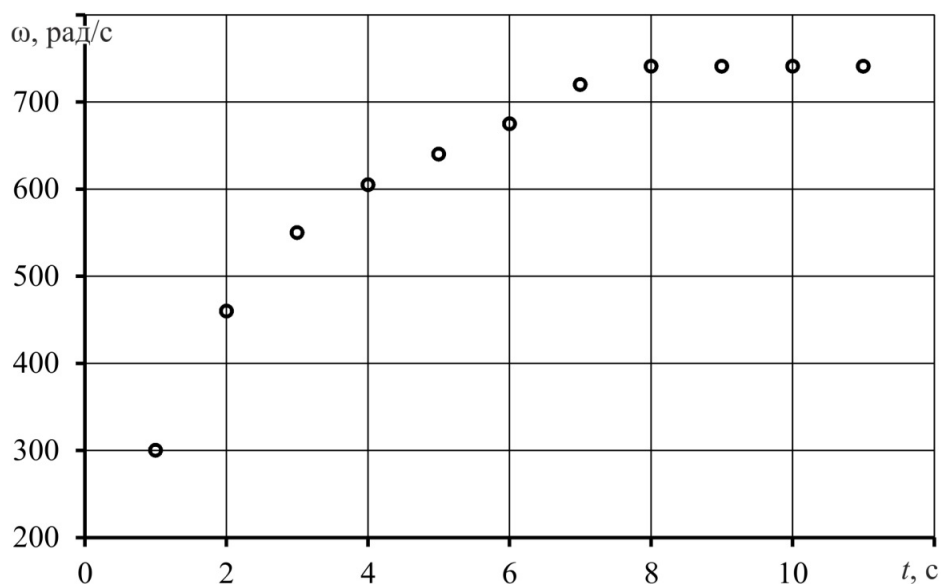


Рис. 6. Зависимость угловой скорости  $\omega$  гидрореактивного гироскопа от времени  $t$  разгона

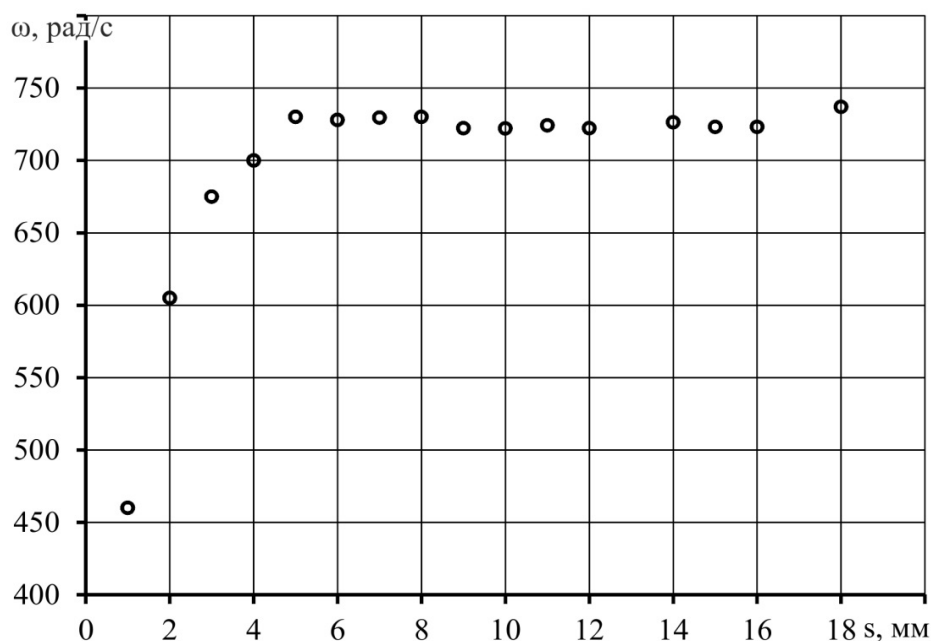


Рис. 7. Зависимость угловой скорости  $\omega$  гидрореактивного гироскопа от зазора  $s$

Для решения задачи оптимизации зазора между гидрореактивным гироскопом стабилизатора и внутренней поверхностью канала проведены эксперименты с компьютерной моделью. Шаг изменения зазора составил 2 мм. Для каждого значения величины зазора  $s$  получены значения угловой скорости  $\omega$  (рис. 7). Определены значения зазоров, обеспечивающие максимально возможную угловую скорость  $\omega$  гироскопического стабилизатора.

## Список литературы

- Горелова А. Ю., Плешаков А. А., Кристаль М. Г. Методы повышения точности обработки глубоких отверстий // Известия Тульского гос. ун-та. Технические науки. — 2013. — Вып. 7 (ч. 2). С. 363–370.
- Драчев О. И., Драчев А. О., Тараненко Г. В., Тараненко В. А. Повышение эффективности вибрационного сверления глубоких отверстий / Старый Оскол: ТНТ, 2010. 218 с.
- П. м. 139407 РФ, МПК В23В 29/00. Резцедержатель, демпфирующий вибрации / Горелова А. Ю., Плешаков А. А., Кристаль М. Г., Стяжгин В. Н.; опубл. 20.04.2014, Бюл. № 11.
- Biermann D., Sacharow A., Wohlgemuth K. Simulation of the BTA deep-hole drilling process. Production Engineering Res. Devel. (2009). P. 339–346.
- FlowVision 3, учебный класс, Контракт № 0329100012012000103-0003629-01 от 20.08.2012 г.
- SolidWorks Education Edition, Контракт № 2011-180-3 от 18 июля 2011 г.
- Weinert K., Weihs C., Webber O., Raabe N. Varying bending eigenfrequencies in BTA deep hole drilling: mechanical modeling using statistical parameter estimation. Production Engineering Res. Devel. (2007). P. 127–134.