

## **ОТЗЫВ официального оппонента**

на диссертационную работу Огородникова Алексея Игоревича  
**«Параметрическое компьютерное моделирование механической обработки хрупких материалов для интеграции в автоматизированную систему технологической подготовки производства»**,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (промышленность)

### *Актуальность темы исследования*

Применение физических принципов и моделей при назначении и обосновании технологических параметров режимов резания является новым и актуальным направлением развития автоматизированных систем технологической подготовки производства деталей машин и приборов способами механической обработки. Реализация наработок в этом направлении даст существенное сокращение времени и материальных затрат на проектирование новых изделий и технологий их изготовления, в том числе – из новых материалов с улучшенными свойствами и малоизученной структурой. Возможность реализовывать разрабатываемые модели в автоматизированном проектировании поддерживается быстрым развитием вычислительных ресурсов и программ для компьютерного моделирования. Вместе с тем, текущий подход к проектированию в программной среде CAD/CAE/CAM/PLM предполагает интеграцию программ CAD/CAM и CAD/CAE, но не рассматривает в полном объеме ставшую актуальной совместную работу программ CAE/CAM. В рамках данной актуальной проблемы сформулирована тема диссертации и выполнено диссертационное исследование.

### *Соответствие паспорту научной специальности*

Вопросы, рассмотренные в диссертации А.И. Огородникова, связаны с повышением эффективности функционирования систем автоматизированного проектирования за счет использования современных методов компьютерного моделирования и инженерного анализа, их применения для предварительной оценки зоны нежелательных дефектов, образующихся в хрупких материалах при механической обработке. Область исследований соответствует паспорту научной специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования: пункту 1 – «Методология автоматизированного проектирования в технике, включая постановку, формализацию и типизацию проектных процедур и процессов проектирования, вопросы выбора методов и средств для применения в САПР», и пункту 3 – «Разработка научных основ построения средств САПР, разработка и исследование моделей, алгоритмов и методов для синтеза и

анализа проектных решений, включая конструкторские и технологические решения в САПР и АСТПП».

### *Структура и объем диссертации*

Диссертация изложена на 150 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и шести приложений. Список литературы включает 116 источников. Структура и оформление диссертации соответствуют стандартным требованиям. Автореферат отражает основное содержание диссертации.

*Во введении* обоснована актуальность и степень разработанности темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, показаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, приведены сведения об апробации, а также основные положения, выносимые на защиту.

*В первой главе* дается анализ проблематики, связанной с темой диссертации, включая проблематику интеграции ресурсов CAE и CAM в распределенной системе автоматизированного проектирования, а также вопросы применения конечно-элементных программ CAE для компьютерного моделирования технологий механической обработки труднообрабатываемых материалов. Рассматривается специфика разработки и моделирования технологических процессов резания хрупких материалов алмазным инструментом. По итогам анализа как отечественных, так и зарубежных литературных источников, сформулированы цель и задачи исследования.

*Во второй главе* представлена формализованная модель образования дефектной зоны в хрупком материале при силовом воздействии режущего инструмента, которая учитывает характер возникновения и распространения трещин с последующим локальным разрушением. Обосновывается соответствующая компьютерная модель для оценки размеров дефектной зоны в плоскости, перпендикулярной направлению движения режущего инструмента; оценка дается количественно на расчетной сетке с применением метода конечных элементов или метода спектральных элементов. Предложен алгоритм раздельного выполнения процедур компьютерного моделирования применительно к анализу технологических параметров режима резания, что обеспечивает эффективное использование облачных сервисов и снижает стоимость проектирования в распределенной системе CAE/CAM.

*В третьей главе* дано описание разработанных программных модулей, которые реализуют алгоритм компьютерного моделирования технологического процесса, представленный во второй главе. Программные модули для подготовки исходной пошаговой инструкции написаны на встроенных языках программирования конечно-элементных программ ANSYS и ФИДЕСИС, они

образуют текстовые файлы с параметрическим описанием вычислительной модели. Для запуска подготовленных к выполнению вычислительных задач в пакетном режиме на удаленной расчетной станции написаны программные коды, которые регламентируют чтение и запись данных, файлы и директории, изменяемые параметры модели. В файл результатов записываются напряжения в узлах расчетной сетки. Для чтения и обработки расчетных результатов из текстового файла написан отдельный модуль, который запускается на пользовательском компьютере и связывает выходные данные программы CAE с входными данными программы САМ. При этом программы CAE и САМ установлены на разных по мощности компьютерах и объединены в распределенную систему автоматизированного проектирования, они могут быть запущены с мобильного устройства.

*В четвертой главе* приведены примеры применения разработанных средств компьютерного моделирования для анализа технологий механической обработки алмазным инструментом хрупких материалов с разной структурой – монокристаллической и аморфной. Для технологии скрайбирования приборной пластины из монокристаллического кремния по результатам компьютерного моделирования показано, что повышенное качество поверхности с меньшими силами резания можно получить в случае резания инструментом с геометрией трехгранной пирамиды, повернутой относительно направления движения. Даны рекомендации по формированию качественных поверхностей при скрайбировании монокристаллической кремниевой пластины гранью алмазного инструмента. Продемонстрирован полный цикл работ по компьютерному моделированию и проектированию технологии гравирования стекла в программной среде CAE ФИДЕСИС / САМ АДЕМ с последующим выполнением технологии на гравировально-фрезерном станке с ЧПУ. Результаты компьютерного моделирования соотнесены с экспериментальными наблюдениями дефектов на конфокальном микроскопе.

*В заключении* представлены основные результаты и выводы диссертации, а также обозначены перспективы дальнейшей разработки темы диссертации.

### ***Научная новизна работы и ее теоретическая значимость***

Научная новизна работы состоит в том, что на основании научно-обоснованных критериев формализован подход к компьютерному моделированию технологических процессов резания хрупких материалов применительно к прикладной задаче автоматизированной технологической подготовки производства. Ключевым фактором автоматизации расчетных процедур проектирования на начальном этапе разработки технологии, когда назначаются параметры режима резания, является параметрическая

компьютерная модель. Автором диссертации впервые сформулирован и реализован в виде комплекса разработанных компьютерных программ алгоритм компьютерного моделирования процессов резания в распределенной программной среде САЕ/САМ, который отличается возможностью передавать данные в виде малоразмерных текстовых файлов между рабочим компьютером технолога с установленной программой САМ и удаленной расчетной станцией с установленной программой САЕ

### *Практическая значимость работы*

Применение разработанных средств компьютерного моделирования, алгоритма и компонентов программного обеспечения САПР, разрешает экономное использование сетевых сервисов и дорогостоящих лицензий на коммерческие программы САЕ. Результаты выполненной работы представляют интерес для предприятий, специализирующихся на механической обработке труднообрабатываемых материалов, что подтверждается приведенным в приложении актом использования. Для таких предприятий зачастую невыгодно устанавливать программы САЕ на своих компьютерах, где технолог работает с программами САМ/САПР, ввиду высокой стоимости и нерегулярного обращения к расчетам; но представляется целесообразным использовать методику, предложенную А.И. Огородниковым, в тех случаях, когда необходимо провести поисковые работы, исследовать новые материалы и режимы резания. Теоретические и практические результаты диссертационной работы используются в УрФУ при организации опытно-конструкторской работы, выполняемой студентами в рамках проектной деятельности.

### *Степень обоснованности научных положений и достоверности полученных результатов*

Обоснованность научных и практических результатов диссертации А.И. Огородникова подтверждается использованием фундаментальных и прикладных работ отечественных и зарубежных ученых по теме исследования при постановке задач, применением эффективных вычислительных методов и современных программных средств, соответствием полученных прогнозов наблюдаемым экспериментальным фактам и технологическим испытаниям.

### *Апробация работы и публикации*

Следует отметить достаточную апробацию работы. Основные результаты были представлены на всероссийских и международных конференциях; опубликовано 20 научных работ, среди которых 6 статей опубликованы в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК РФ, и в журналах,



индексируемых в базах WoS и Scopus; которые с достаточной полнотой отражают основное содержание и выводы диссертационной работы.

### *Замечания и вопросы*

#### *Вопросы:*

1. В аналитической главе не упоминается программа CAE ЛОГОС, которую активно развивает и поддерживает ГК «Росатом». Может ли выбранная в диссертационной работе программа CAE ФИДЕСИС конкурировать по точности расчетов с CAE ЛОГОС и CAE ANSYS?

2. В работе показана совместная работа программ CAE ФИДЕСИС и САМ АДЕМ, но нет объяснения, почему отдается предпочтение программе АДЕМ, а не отечественным программам САМ СПРУТ или T-flex. Чем обоснован выбор программы САМ в диссертационной работе?

#### *Замечания:*

3. В главе 1 на рисунке 1.1 (страница 13) не обозначена область хрупких материалов. А между тем, хрупкому разрушению подвержены не только стекла и керамики, но и некоторые металлические сплавы, например, чугуны.

4. В главе 2 на рисунке 2.1 (страница 43) ось Z не проходит через точку пересечения диагоналей в основании пирамиды, при этом углы поворота пирамиды относительно осей координат не показаны, вместе с тем, они обсуждаются в описании модели.

5. В главе 3 на рисунке 3.8 (страница 93) не указан размерный масштаб изображения.

6. В главе 4 на рисунке 4.7 (страница 112) представлена пластина из кремниевой керамики, но в тексте не обсуждаются соответствующие экспериментальные результаты.

Высказанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общего положительного впечатления от материала диссертации.

### *Заключение*

Диссертационная работа Алексея Игоревича Огородникова представляет собой самостоятельную и законченную научно-квалифицированную работу, выполненную на актуальную тему и обладающую признаками новизны и практической значимости. Полученные результаты и научно обоснованные решения, которые изложены в диссертации, применимы и реализованы в

Диссертация обладает структурным единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для защиты, свидетельствует о личном вкладе автора в исследование. Разделы диссертации взаимосвязаны и логично дополняют друг друга. Полученные автором результаты достоверны. Выводы и

заклучения, сделанные диссертантом, обоснованы и соответствуют представленным в работе результатам. Практическая значимость работы подтверждена соответствующими актами использования. Диссертационная работа А.И. Огородникова на тему «Параметрическое компьютерное моделирование механической обработки хрупких материалов для интеграции в автоматизированную систему технологической подготовки производства» соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ. Диссертация отвечает требованию указания ссылок на заимствованные материалы или отдельные результаты.

Считаю, что Алексей Игоревич Огородников заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (промышленность).

Даю согласие на обработку моих персональных данных.

Официальный оппонент, доктор технических наук (05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)), доцент, профессор кафедры «Инженерная геометрия и САПР» факультета информационных технологий и компьютерных систем ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»



Анна Генриховна Янишевская

11 ноября 2021 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет»,  
Адрес: 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, д.11,  
Телефон: +7 (3812) 65-36-45, E-mail: [anna-yanish@mail.ru](mailto:anna-yanish@mail.ru).

Подпись А. Г. Янишевской заверяю



