

Доклад на конференции ИКМ МТМТС-2026

Слайд 1. Титульный лист

Уважаемые коллеги, добрый день!

Меня зовут Игорь Дикшев, директор департамента математического моделирования сварочных процессов компании Юмосс.

Сегодня я расскажу о нашем проекте системы управления процессами и данными компьютерного моделирования для производства судовых корпусных конструкций, создаваемую на базе отечественной программной платформы CAE WeRTSim.

Слайд 2. Объект инженерного анализа: технология сварки судовых корпусных конструкций

Основные задачи, которые мы хотим решить, создавая этот программный продукт:

- повышение надежности сварных соединений за счет прогноза качества и оптимизации параметров режима;
- увеличение эффективности производства за счет повышения производительности труда и сокращения издержек;
- повышение производительности труда за счет уменьшения сварочных деформаций и, как следствие, сокращение временных, материальных и финансовых затрат на их исправление;
- снижение издержек за счет замены натуральных экспериментов на вычислительные эксперименты и, как следствие, сокращение сроков и стоимости процесса технологической подготовки производства при постоянно меняющемся ассортименте продукции;
- снижение квалификационных требований к производственному персоналу за счет формирования экспертных рекомендаций в виде технологических инструкций по результатам имитационного моделирования и, как следствие, уменьшение остроты проблемы кадрового дефицита и снижение стоимости производства при одновременном сохранении и повышении качества продукции;
- цифровизация стадии технологической подготовки производства;
- автоматизация и роботизация судостроительных производств.

Слайд 3. Проблемы производства сварных конструкций. Актуальность: качество шва и деформации конструкции

Основным технологическим процессом соединения судовых корпусных конструкций является электродуговая сварка. Однако технологический процесс сварки имеет недостатки, основным из которых является деформация конструкций, т.е. изменение их размеров и формы в процессе сварки.

Опыт постройки сварных судов показывает, что деформации узлов и секций, возникающие в процессе сварки, значительно осложняют сборку и сварку корпусов. При стыковании деформированных секций затрачивается много рабочего времени на правку сварных конструкций, подгоночные и прирубочные работы. Иногда деформации достигают такой

величины, что выправить их становится невозможно, и готовые конструкции бракуются. Кроме того, сварочные деформации часто приводят к снижению прочности сварных конструкций.

Имитационное моделирование, основанное на численном анализе процесса, поможет в прогнозировании и повышении качества сварных соединений, оптимизации параметров режима сварки, выработке мероприятий по уменьшению сварочных деформаций. В свою очередь это позволит значительно повысить производительность процесса, сократить время и расход материалов на устранение брака и борьбу с деформациями между технологическими переходами.

Слайд 4. Проблемы производства сварных конструкций. Актуальность: кадровый вопрос

В настоящее время многие заводы, особенно небольшие, сталкиваются с дефицитом квалифицированного производственного персонала. Сварщики стали одними из самых высокооплачиваемых специалистов в России – из-за дефицита кадров зарплаты достигают 540 тысяч рублей в месяц.

Экспертная система на базе численного анализа процесса формирует рекомендации по выбору оптимальных параметров режима и условий сварки, что позволяет снизить квалификационные требования к специалистам, использовать труд менее высокооплачиваемых сварщиков и заменить множество натуральных экспериментов на вычислительные, экономя время и деньги.

Слайд 5. Проблемы производства сварных конструкций. Актуальность: здесь и сейчас, быстро и дешево

На стадии проектирования конструкций для расчёта ожидаемых сварочных деформаций традиционно применяют программные пакеты инженерного анализа, основанные на методе конечных элементов, например ANSYS, SYSWELD, Simufact Welding и др. Однако их применение на стадии технологической подготовки производства имеет ряд существенных ограничений, наиболее общими из которых являются:

- чрезмерная сложность пользовательского интерфейса;
- специфические требования к квалификации пользователей;
- долгая и трудоемкая подготовка расчета;
- длительное время расчета;
- высокие требования к информационно-коммуникационной инфраструктуре;
- часто представлено решение только задач анализа (нет оптимизации);
- сварной шов определяется теоретическими моделями (снижается точность, увеличиваются сложность подготовки и время расчета, не учитывается многопроходность швов).

Кроме того, западное происхождение такого ПО исключает возможность его применения в условиях санкционного давления на Россию из-за отсутствия продаж и технической поддержки.

Нужно отметить, что сегодня на рынке инженерного ПО для сварки присутствуют и отечественные аналоги западных CAE-систем, но они предлагают либо узкоспециализированные аналитические решения с ограниченными функциональными

возможностями, либо построены на том же конечно-элементном методе со всеми его ограничениями для применения инженерами-технологами.

Таким образом, на отечественном и мировом рынках отсутствуют подходящие инструменты инженерного анализа сварки для стадии технологической подготовки. В то же время, есть острая необходимость «здесь и сейчас», быстро и дешево решать на производстве ряд сложных технологических задач по уменьшению сварочных деформаций и повышению точности изготовления сварных конструкций.

Слайд 6. Этапы создания инструмента инженерного анализа сварки для стадии технологической подготовки производства

Компания Юмосс разработала и развивает платформу цифровых двойников CAE WeRTSim различных технологий машиностроения, включая сварку стыков сложной геометрии из разноименных и разнородных материалов, наплавку, резку, напыление, поверхностное упрочнение и легирование, литьё, аддитивные технологии и другие.

Цифровые двойники основаны на имитационных моделях высокотемпературных процессов и позволяют всесторонне их исследовать методами вычислительных экспериментов, включая синтез и оптимизацию параметров режима.

За прошлый и текущий годы мы провели несколько научно-исследовательских работ в интересах различных заводов, в рамках которых отработали технологию имитационного моделирования сварки. О результатах одной из таких НИР для Онежского судостроительно-судоремонтного завода я сегодня тоже расскажу.

В настоящее время мы занимаемся проектом по дальнейшей автоматизации стадии технологической подготовки сварочного производства на базе CAE WeRTSim. Проект включает автоматизацию рутинных задач с помощью алгоритмов вычислительных экспериментов над имитационными моделями, автоматизацию рабочих процессов технолога по сварке и системную интеграцию с внешними информационными системами, в том числе с САПР.

Слайд 7. Физико-математическое моделирование сварки. Научная школа

В основу CAE WeRTSim положены уникальные алгоритмы моделирования, которые были разработаны в результате многолетних исследований российских ученых под руководством д.т.н. проф. Судника В.А. Большой вклад в эти исследования внесли д.т.н. проф. Рыбаков А.С. и к.т.н. проф. Ерофеев В.А.

История научной школы началась в период с 1971 по 1973 годы, когда аспирант Тульского политехнического института Судник В.А. начал экспериментировать с решением уравнения теплопроводности на ЭВМ.

В конце 1970-х годов на кафедре ОиТСП ТулПИ сформировалось новое научное направление, посвященное разработке научных основ численного математического моделирования на ЭВМ сложных нелинейных теплофизических и гидромеханических явлений, сопровождающих процессы сварки.

В 1985 году с помощью численного моделирования получены новые данные об устойчивости точечной контактной сварки к технологическим возмущениям и разработана

система автоматического контроля и управления этим процессом – кандидатская диссертация Ерофеева В.А.

В 1988 году получены теплофизические закономерности аргодуговой сварки тонколистовых соединений – кандидатская диссертация Рыбакова А.С.

В 1991 году разработана система прогнозирования качества сварных соединений на основе численных моделей формирования шва при сварке плавлением – докторская диссертация Судника В.А.

В 1995 году на базе кафедры ОиТСП уже ТулГУ был создан Международный научно-образовательный центр «Компьютерные высокие технологии в соединении материалов» при участии института лучевых технологий штутгартского университета, института сварочных технологий Рейнско-вестфальской высшей технической школы Ахена и германо-американского концерна DaimlerChrysler. Это событие ознаменовало формирование научной школы физико-математического моделирования и компьютерной имитации высокотемпературных процессов под руководством Судника В.А.

В последующие годы в русле этого научного направления было выполнено более 10 кандидатских диссертаций, докторская диссертация Рыбакова А.С., сделано несколько сотен докладов на отечественных и международных научных мероприятиях, опубликовано около тысячи научных работ в отечественных и международных научных изданиях.

Таким образом, история научной школы физико-математического моделирования и компьютерной имитации высокотемпературных процессов на сегодняшний день составляет уже более 50 лет.

Слайд 8. Физико-математическое моделирование сварки. Имитационные модели сварочных процессов

Результатом многолетних исследований группы ученых под руководством проф. д.т.н. Судника В.А. являются созданные имитационные модели различных сварочных процессов и процессов родственных технологий. На их основе разработано инженерное программное обеспечение для решения сложных технологических задач.

Основные расчетные алгоритмы были верифицированы по экспериментальным данным и прошли проверку многолетней промышленной эксплуатацией на отечественных и международных производственных предприятиях.

Слайд 9. Дорожная карта проекта. Разработка инструмента инженерного анализа сварки.

Мы продолжаем научное направление, заложенное научной школой ТулГУ, и развиваем имитационное моделирование сварки и родственных технологий.

Компания Юмосс в рамках внутренней ОКР разработала отечественную компьютерную систему инженерного анализа сварки и родственных технологий CAE WeRTSim для стадии технологической подготовки производства и продолжает её развивать. На базе этой системы мы провели несколько совместных НИР с различными заводами, в том числе с верфями. Например, помогли одной из крупных верфей решить проблему выбора параметров режима орбитальной сварки титановых сплавов. Об этом наш второй доклад,

но, к сожалению, без выступления. Также в рамках совместной НИР мы апробировали в условиях реального производства на Онежском судостроительно-судоремонтном заводе технологию имитационного моделирования сварки и получили очень хороший результат. Об этом будет речь чуть дальше.

Следует отметить, что все работы были выполнены без привлечения внешнего финансирования, то есть за свой счет.

В настоящее время мы занимаемся проработкой проекта ОКР «ТИМ Сварка» по созданию системы управления процессами и данными компьютерного моделирования для производства судовых корпусных конструкций. Эта система будет базироваться на автоматизации выполнения рутинных задач в виде алгоритмов вычислительных экспериментов, а также на автоматизации рабочих процессов технолога по сварке. Сейчас выстраиваем партнерские отношения с технологическими лидерами в этой области и планируем системную интеграцию с передовыми решениями в области САПР и управления жизненным циклом изделий. Результатом ОКР будет опытный образец, который после опытной эксплуатации планируется внедрить на ряд судостроительных производств.

Слайд 10. ОКР «Разработка CAE WeRTSim». Разработка системы инженерного анализа сварки

CAE WeRTSim строится на базе программной платформы, объединяющей цифровые двойники процессов с инструментами инженерного анализа технологии.

Программная платформа построена на основе масштабируемой архитектуры с инвариантными модулями, что упрощает техническую поддержку, позволяет гибко настраивать функциональное наполнение под потребности конкретных пользователей, а также неограниченно расширять функционал за счет интеграции в Систему новых различных процессов и алгоритмов численного анализа.

Цифровые двойники технологических процессов представляют собой имитационные модели различных видов сварки, учитывающие специфику каждого сварочного процесса, и адаптирующиеся с помощью калибровочных коэффициентов под характеристики используемого оборудования и особенности применяемой на заводе технологии.

Как я уже говорил, имитационные модели, на которых базируются цифровые двойники, были верифицированы и прошли длительные испытания промышленной эксплуатацией на отечественных и международных производствах. При этом методика верификации была опубликована в научном международном журнале «Прикладная физика», а один из слайдов этой публикации даже был вынесен на обложку журнала.

Инструменты инженерного анализа технологии представлены расчетными и функциональными модулями, а также алгоритмами Вычислительных Экспериментов.

Слайд 11. НИР «Сварка». Разработка ТИМ сварки судовых корпусных конструкций

В период с 22 сентября 2025 года по 27 февраля 2026 года «Онежский судостроительно-судоремонтный завод» и «Юмосс» провели совместную научно-исследовательскую работу

по теме «Разработка технологии имитационного моделирования сварки судовых корпусных конструкций», в рамках которой была разработана технология имитационного моделирования сварочных процессов и успешно апробирована на примере процесса автоматической сварки под флюсом в условиях реального заводского производства сварных судовых корпусных конструкций.

Работа проводилась в три этапа. На первом этапе был проведен анализ применяемой на заводе технологии сварки судовых корпусных конструкций. По результатам анализа была подготовлена имитационная модель дуговой сварки под флюсом плавящимся электродом. Определены целевые показатели и индикаторы, которых мы планировали достигнуть в процессе выполнения работы.

Слайд 12. НИР «Сварка». Разработка ТИМ сварки судовых корпусных конструкций

На втором этапе НИР с помощью подготовленной имитационной модели было проведено исследование процесса сварки для оптимизации применяемой на заводе технологии с целью минимизации сварочных деформаций. По результатам исследований были выработаны рекомендации по изменению этой технологии.

На третьем этапе, при нашем непосредственном участии, проводилась апробация рекомендаций в реальном технологическом процессе. Затем мы сравнили результаты анализа, полученные на первом этапе НИР с результатами апробации. Все целевые значения контролируемых показателей и индикаторов были достигнуты.

Слайд 13. НИР «Сварка». Разработка ТИМ сварки судовых корпусных конструкций

Результаты апробации технологии имитационного моделирования сварки подтвердили высокий научно-технический уровень разработок «Юмосс» в области имитационного моделирования сварочных процессов и продемонстрировали широкие возможности их применения для увеличения производительности труда и повышения эффективности производства сварных конструкций.

Конечно, НИР была выполнена на примере лишь нескольких типовых судовых корпусных конструкций, однако можно сделать вывод, что суммарный эффект от внедрения технологии имитационного моделирования будет пропорционален количеству судовых корпусных конструкций, используемых при строительстве всего судна. Соответственно, в масштабах предприятия или судостроительной отрасли, общий эффект от внедрения технологии имитационного моделирования будет мультиплицирован на их пропускную способность.

Слайд 14. ОКР «ТИМ Сварка». Разработка SPDM «APM Технолога»

В рамках ОКР «ТИМ Сварка» мы планируем разработать на платформе CAE WeRTSim алгоритмы вычислительных экспериментов для автоматизации выполнения рутинных задач и подсистему автоматизации рабочих процессов технолога по сварке на их основе. Получится система управления процессами и данными компьютерного моделирования.

Добавим сюда интеграцию с САПР и системами управления жизненным циклом изделия и в итоге получим автоматизированное рабочее место технолога по сварке.

Результатом ОКР будет опытный образец, который после опытной эксплуатации планируется внедрить на ряд судостроительных производств.

Слайд 15. ОКР «ТИМ Сварка». Алгоритмы вычислительных экспериментов

Внедрение ТИМ предполагает автоматизацию следующих задач, выполняемых на стадии технологической подготовки производства:

- прогноз качества шва;
- пакетная обработка заданий;
- параметрический анализ;
- диагностика качества шва;
- факторный анализ;
- оптимизация параметров режима;
- прогноз сварочных деформаций;
- оптимизация технологии сварки;
- верификация имитационных моделей.

Алгоритмы вычислительных экспериментов реализуются на платформе CAE WeRTSim как управляющие модули над цифровыми двойниками различных видов сварки и элементарными функциями – расчётными модулями, выполняющими предобработку данных и постобработку результатов моделирования.

Слайд 16. ОКР «ТИМ Сварка». Автоматизация рабочих процессов технолога по сварке

Следующим логичным шагом является автоматизация рабочих процессов. Рабочие процессы являются подвидом бизнес-процессов, автоматизация которых изначально была одним из важнейших аспектов управления бизнес-процессами и нацелена на трудоемкие и повторяющиеся задачи для повышения производительности труда. В настоящее время автоматизация бизнес-процессов стала движущей силой и центральным краеугольным камнем любой цифровой трансформации.

Автоматизация рабочих процессов закрывает потребность в оптимизации операций и принятии более точных решений, а также повышении эффективности за счёт сокращения количества ошибок, ускорения согласований изменений, исключения человеческого фактора в расчётах и высвобождает человеческие ресурсы для выполнения более важных задач. Для этого используется специализированное ПО, позволяющее создать серию автоматизированных действий с целью реализации этапов рабочего процесса. Программное обеспечение позволяет распределить задачи и данные между компонентами Системы на основе заранее определенных правил и триггеров, после чего процессы помещаются в автоматизированный поток, который следует набору интеллектуальных параметров и выполняет задачу так же, как это делает человек.

Для автоматизации рабочих процессов на программной платформе CAE WeRTSim планируется разработать подсистему управления процессами и данными компьютерного моделирования «APM Технолога». Такая подсистема позволит сократить рутину при

создании технологической документации и выполнении расчетов. Основные методы создания «АРМ Технолога» заключаются в интеграции с САПР для получения чертежей, интеграции с отраслевыми и корпоративными информационными системами класса ERP/MES/PLM/PDM для обмена данными, а также в применении всех инструментов имитационного моделирования CAE WeRTSim для оптимизации проектирования технологии. По сути «АРМ Технолога» — это автоматизированное рабочее место технолога для формирования технологических карт, схем и документации на основе автоматизированных расчетов параметров режима и оптимизации условий сварки.

Слайд 17. ОКР «ТИМ Сварка». Сравнение текущего и предлагаемого решений

На производстве при выборе параметров режима и условий сварки часто полагаются на опыт сварщика, что обуславливает высокие квалификационные требования к нему для гарантированного обеспечения заданного высокого качества продукции.

Расчет ожидаемых сварочных деформаций для различных конструктивных и технологических вариантов позволяет автоматически выбрать оптимальный вариант конструкции и технологии ее изготовления с точки зрения получения минимальных деформаций и выработать комплекс мероприятий по борьбе с ними.

Идея предлагаемого решения заключается в том, чтобы заменить применяемый в настоящее время эмпирический подход на обоснованный выбор варианта технологии. В результате получаем, по сути, оцифрованный опыт высококвалифицированного сварщика, который может быть использован в виде экспертной подсистемы для САПР технологической подготовки производства или в системах сквозной технологии судостроения.

Слайд 18. Спасибо за внимание!

Будем очень рады, если наш продукт реально поможет в решении ваших производственных задач.

Благодарю за внимание.