

## БЕЛОРУССКИЕ САЕ-СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО И МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

\*А.Н. Чичко, Ю.В. Яцкевич, Т.В. Матюшинец

*Белорусский национальный технический университет, \*Государственное научное учреждение «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси», Минск, Республика Беларусь*

**Реферат.** Показаны возможности численного 3d-моделирования процессов металлургического и машиностроительного производства. Представлены иллюстрации применения разработок БНТУ в виде специализированных САЕ-систем для решения конструкторских и технологических задач.

**Введение.** Развитие современных вычислительных методов и быстродействующих компьютеров с большой дисковой и оперативной памятью открывает огромные возможности для использования математического моделирования и САЕ-систем (Computer-aided engineering) для проектно-конструкторских работ в машиностроении. Мировой опыт машиностроения показывает, что прорывные технологии иностранных компаний в значительной степени связаны с использованием САЕ-систем, основанных на методах численного моделирования технологий и конструкций. Анализ существующей информации и опыт работы с белорусскими предприятиями, дает основание утверждать, что в Республике Беларусь, несмотря на отдельные успехи, имеется существенное отставание как в разработке подобных САЕ-систем, так и в применении их в конструкторских бюро промышленных предприятий. Это снижает эффективность проектно-конструкторских работ, в результате чего сроки разработки техники и уровень ее конкурентоспособности по ряду позиций, в том числе и по качеству, все еще отстает от западных аналогов.

В вузовской и академической науке в течение последних 15 лет активно развивается научно-техническое направление, в основе которого лежит создание методов, алгоритмов и программ для решения конструкторских и технологических задач машиностроения на основе численных методов. В связи с этим для промышленных предприятий и научно-исследовательских организаций мы разрабатываем математическое ядро, в котором заложены численные схемы для расчета движения газов, жидкостей, расплавов в пространственных структурах с учетом охлаждения и нагрева, структурообразования сплавов.

**Цель этих работ** – создать узкоспециализированные САЕ-системы для решения конструкторских и технологических задач реального сектора экономики и встроить их в конструкторско-технологическую цепочку промышленных предприятий.

**Постановка задач и методы их решения.** Для создания специализированных САЕ-систем использованы численные методы, которые реализованы в математическом ядре в виде системы уравнений с граничными и начальными условиями, которые могут изменяться в зависимости от конкретного класса задач на уровне исходных кодов. В частности, в основе математического ядра лежат уравнения движения Навье-Стокса, уравнение неразрывности, уравнение энергии или уравнение теплопроводности в трехмерной форме. Эти уравнения дополняются начальными и граничными условиями, а также клеточно-автоматными уравнениями, которые построены на основе эмпирических уравнений и коэффициентов для привязки процесса к промышленным или экспериментальным данным, что позволяет моделировать динамику сложных процессов в любой пространственной конфигурации. В работах [1-9] описан математический аппарат, основанный на вышеперечисленных уравнениях.

Научно-технический задел по математическому моделированию реализован в базовых версиях САЕ-систем (ПроЛит-і, ПроТерм-і, ПроНПС-і, ПроХим-і), которые имеют в настоящее время различный уровень завершенности. Отдельные модели математического ядра апробировались в течение последних 15 лет в ходе выполнения научных работ на промышлен-

ных предприятиях Республики Беларусь (ОАО «МЗОО», РУП «БМЗ», РУПП «Гранит», ОАО «Белаз», ОАО «Маз», ОАО «Атлант» и других).

**Результаты моделирования.** На рисунках представлены результаты моделирования технологических процессов, в некоторых специализированных программах, которые использовались при выполнении научно-технических работ с предприятиями.

На рисунках 1-2 представлены фрагменты работы системы ПроАэро-2, которая использовалась в данном случае для расчета пространственного распределения скоростей и температур внутри кабины трактора. Исходные данные по конструкции были предоставлены предприятием ОАО «Амкадор». Как видно из рисунков, ПроАэро-2 позволяет визуализировать скорости и температуры в точках, в пространстве, в выделенных плоскостях во времени. На основе этих данных можно проводить оценку работы нагнетателей воздуха и кондиционера.

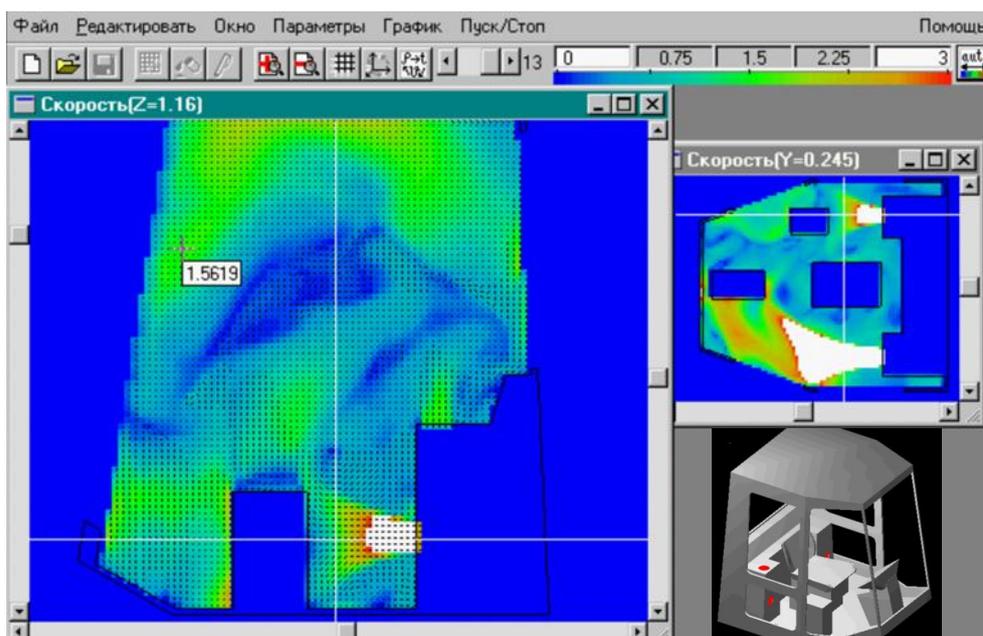


Рисунок 1 – Фрагмент моделирования в системе АэроПро-2 (распределение скоростей в выделенных плоскостях) процесса конвекции воздуха в кабине трактора

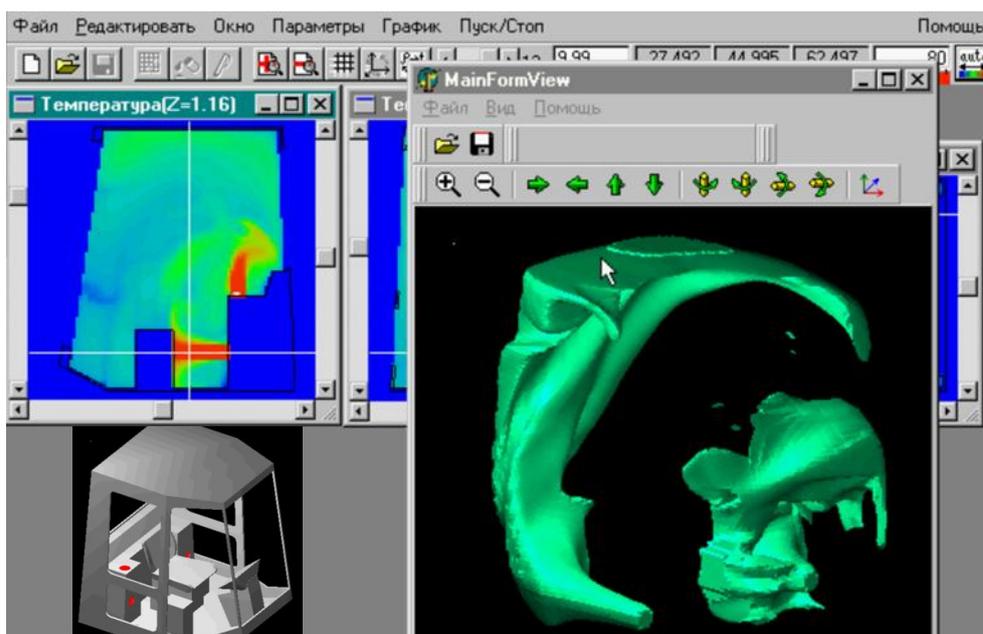


Рисунок 2 – Фрагмент моделирования в системе АэроПро-2 (распределение температур в выделенных плоскостях и в выделенном объеме) в кабине трактора

На рисунках 3-4 представлены фрагменты работы системы ПроТерм-2, которая используется в данном случае для расчета пространственного распределения термических напряжений скоростей фазовых составляющих пресс-формы в процессе термической обработки. Исходные данные по конструкции были предоставлены предприятием ОАО «Атлант». Как видно из рисунков, ПроТерм-2 позволяет визуализировать термические напряжения, температуры и фазы в точках, в пространстве, в выделенных плоскостях во времени. На основе этих данных можно давать оценку стойкости пресс-форм, используемых при литье деталей.

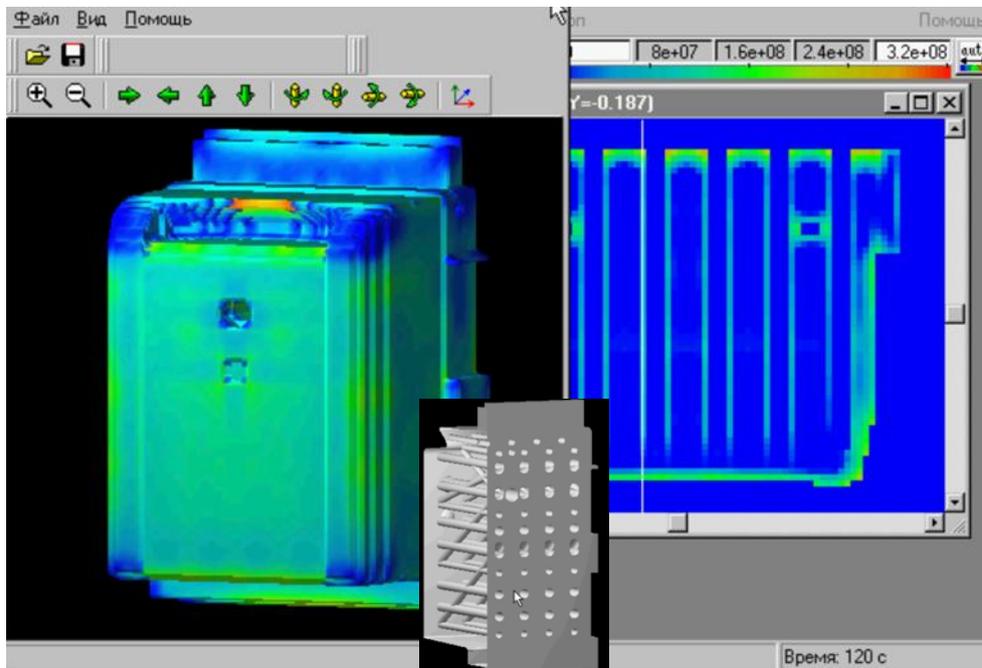


Рисунок 3 – Фрагмент моделирования в системе ПроТерм-2 (распределение термических напряжений в выделенных плоскостях и в выделенном объеме) в пресс форме, в процессе термообработки

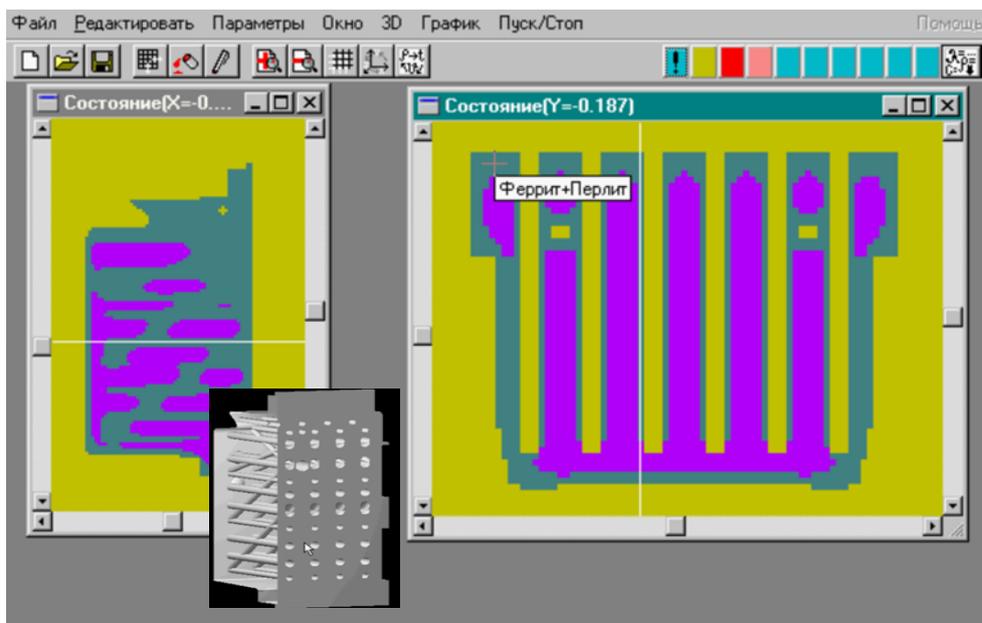


Рисунок 4 – Фрагмент моделирования в системе ПроТерм-2 (распределение фазовых составляющих микроструктуры стали в выделенных плоскостях) в пресс форме, в процессе термообработки

На рисунке 5 представлены фрагменты работы системы ПроНПС-2, которая используется для оценки процесса растворения науглераживателей в стали под действием аргона. Исходные данные по размерам конструкции были предоставлены предприятием РУП «БМЗ» в ходе хозяйственного договора. Как видно из рисунка, ПроНПС-2 позволяет визуализировать эволюцию процесса растворения порошковых материалов в стали, а также определить эффективность аргонной обработки. На основе этих данных можно оптимизировать технологические режимы процесса науглераживания стали углеродом.

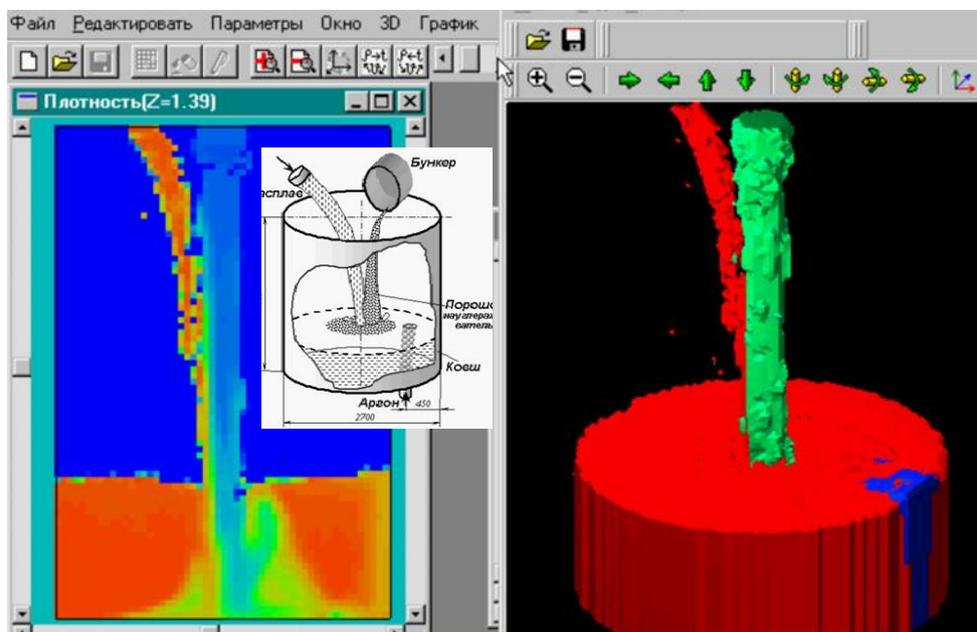


Рисунок 5 – Фрагмент моделирования в системе ПроНПС -2 (распределение плотности в выделенных плоскостях и в выделенном объеме) в промышленном ковше форме, в процессе подачи расплава стали, науглераживателя и аргона

**Заключение.** Разработка отечественных САЕ-систем на рынке позволит предложить белорусским предприятиям специальные САЕ-системы под конкретные задачи, что позволит снизить уровень импортозамещения ИТ-технологий в Республике Беларусь и позволит повысить конкурентоспособность разрабатываемой техники. Это ИТ-направление является стратегически важным, так как позволит иметь развивать в республике CALS-инструменты для совершенствования отечественных промышленных технологий.

Для повышения эффективности работ планируются выполнять следующие этапы.

Этап 1. Выполнение совместных работ по разработке технологии совместно с конструкторами предприятия. Разработка специфических алгоритмов работы конструктора с учетом особенностей данного предприятия.

Этап 2. Разработка первой версии вычислительной САЕ-системы под нужды и задачи конкретного конструкторского бюро предприятия и ее апробация.

Этап 3. Научное сопровождение, доработка и внедрение САЕ-системы в конструкторско-технологической цепочке предприятия.

Специализированные САЕ-системы в дальнейшем можно совершенствовать под новые технологии и проблемы предприятий, внедряя передовые ИТ-технологии на предприятиях. Внедрение САЕ-систем в технологическую цепочку процесса изготовления изделий позволит:

- снизить уровень издержек, временные затраты на подготовку производства изделия;
- повысит качество принимаемых конструкторских и технологических решений;
- получить эффективный инструмент для принятия принципиально новых конструкторских решений.

## Литература

1. Чичко, А.Н. Комплекс программных средств «ПРОЛИТ» для моделирования процессов течения и охлаждения расплавов / А.Н.Чичко, В.Ф. Соболев, С.Г. Лихоузов // Программные продукты и системы (Россия). – 2002. – №4. – С.47–48.
2. Чичко, А.Н. Клеточно-автоматное моделирование процесса течения расплава в форме / А.Н. Чичко, С.Г. Лихоузов // Доклады НАН Беларуси. – 2001. – Т.45.– №4. – 2001. – С. 110–114.
3. Чичко, А.Н. Программное обеспечение «Пронейролит» для прототипирования литейных технологий / А.Н. Чичко, Ю.В. Яцкевич, В.Ф. Соболев, Т.В. Матюшинец, О.И. Чичко // Литье и металлургия. 2010. №1. С. 76–82.
4. Чичко, А.Н. «Пролит-1с» программное обеспечение на основе мультипроцессорных технологий для решения задач литейного производства / А.Н. Чичко, В.Ф. Соболев, С.Г. Лихоузов, Ю.В. Яцкевич, О.И. Чичко, О.А. Сачек // Информационные технологии программы союзного государства «Триада»: основные результаты и перспективы: сб. науч. тр. Минск, 2010. С. 169–176.
5. Чичко, А.Н. Математическое моделирование усадочных процессов стали на основе уравнений Навье-Стокса и Фурье-Кирхгофа / А.Н. Чичко, С.Г. Лихоузов, В.Ф. Соболев, О.А. Сачек, Т.В. Матюшинец, О.И. Чичко // Литье и металлургия. 2013. №1. С.70-78.
6. Чичко А. Н., Бороздин А.С. Трехмерное моделирование напряженного состояния движущегося слитка при изменении граничных условий по температуре// Известия вузов. Энергетика. – 2005. – №4. – С.61-67.
7. Чичко А. Н., Андрианов Н. В., Бороздин А. С. Компьютерная система «ПроТерм-1н»- для моделирования процессов ступенчатого нагрева стальных слитков // Сталь. – 2005. – №11. – С.66-71.
8. Чичко А.Н., Кукуй Д.М., Соболев В.Ф., Лихоузов С.Г., Сачек О.А. Моделирование процессов нагрева и охлаждения деталей на основе трехмерного уравнения теплопроводности в САЕ «ПроТерм-1» // Литье и металлургия. – 2012. – №1. – С. 65–70.
9. Свидетельство о регистрации компьютерной программы «ПроЛит»: 037 / А.Н. Чичко, С.Г. Лихоузов., В.Ф. Соболев, Ю.В. Яцкевич, О.И. Чичко, О.И. – № С20080028; заявл. 01.10.2008; зарег. 03.10.2008.