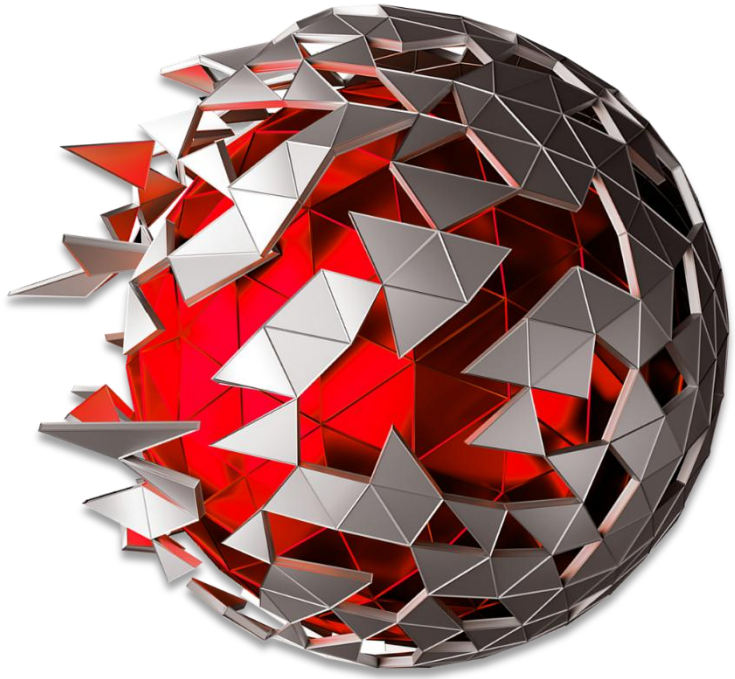
Инженерный анализ литейных технологий. Проблемы развития отечественного программного обеспечения



Монастырский Алексей Валерьевич

к.т.н., руководитель отдела разработки

PoligonSoft

avmon@csoft.ru

CSDEV.RU/+7 (495) 069-44-44

СиСофт Девелопмент

УНИКАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ САПР, ТИМ/BIM, PLM, CAE

60
Готовых приложений

1,5 млн
Выданных лицензий

600 тыс.
Рабочих мест в базе

35 тыс.
Предприятий клиентов

30 лет
Работы на рынке САПР

АО «СиСофт Девелопмент» (CSoft Development) - российский разработчик инженерного программного обеспечения **САПР** и **BIM**, комплексных решений для машиностроения, промышленного и гражданского строительства, архитектурного проектирования, землеустройства, электронного документооборота, обработки сканированных чертежей, векторизации и гибридного редактирования с опытом работы на рынке свыше 30 лет.

POLIGONSOFT

CSoft development

СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

- Конечно-элементный анализ в литейном производстве
- Ориентирован на инженеров-технологов
- Используется во многих отраслях промышленности: энергетика, транспорт, тяжелое машиностроение, авиация и космос, ВПК, производство полупродукта и т.д.
- Внесен в единый реестр российских программ, рег. номер 3378.
- Более 30 лет на рынке (с 1989 г.)
- Коллектив из специалистов высокого класса

  (д.т.н., к.т.н., к.ф-м.н, технологи литейного производства, программисты)

РОСАТОМ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

ОДК

АО Корпорация Тактическое Ракетное Вооружение

ТМК

SIEMENS

Северсталь

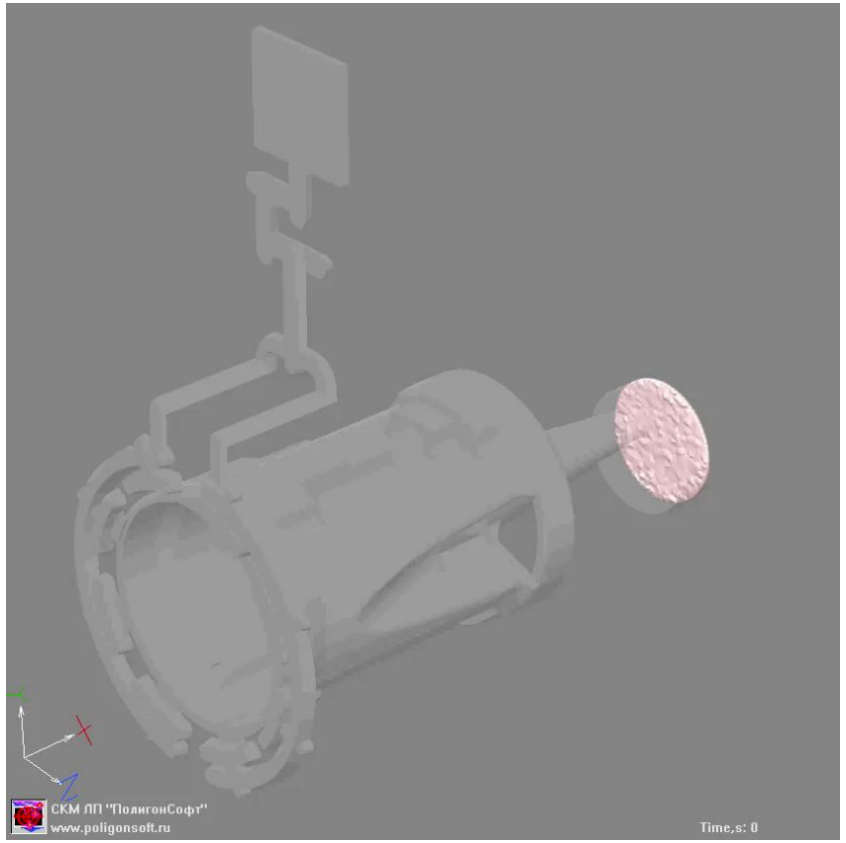
НЛМК

POLIGONSOFT

CSoft development

МОДЕЛИРУЕМЫЕ ЛИТЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- В песчаные формы с любым связующим и без него
- В кокиль (нагреваемый и охлаждаемый)
- Литье по выплавляемым моделям
- Литье в вакууме (в том числе направленная кристаллизация)
- Литье под высоким давлением
- Литье под низким давлением
- Непрерывное литье
- Центробежное литье
- Термическая обработка



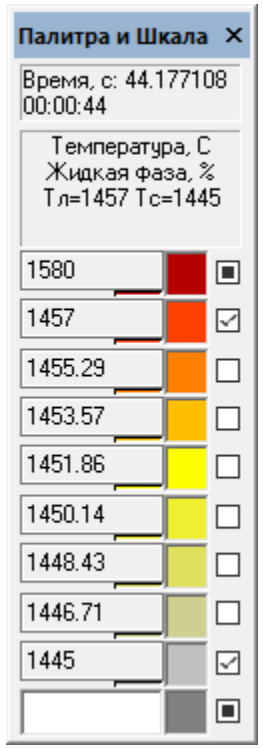
Заполнение формы (литье под давлением)

POLIGONSOFT

CSoft development

РЕШАТЕЛЬ ТЕЧЕНИЯ EULER

- Свободная поверхность расплава
- Динамика заполнения
- Поле скоростей расплава
- Поле температур расплава и формы
- Затвердевание
- Критерий остановки (непроливы)
- Центробежное литье



Заполнение формы (ЛВМ)

POLIGONSOFT

CSoft development

РЕШАТЕЛЬ ТЕЧЕНИЯ EULER

Верификация момента остановки течения расплава на основе экспериментальных данных

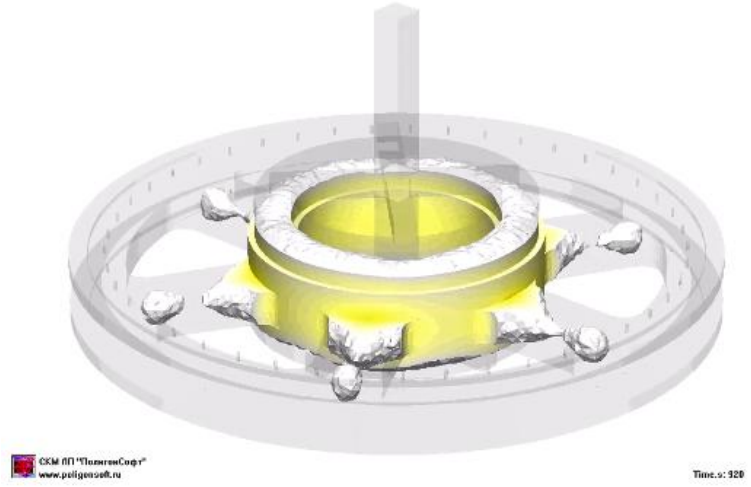
(V. E. Bazhenov , A. V. Petrova, and A. V. Koltygin Foundry Department, National University of Science and Technology (MISiS), Moscow, Russia)

Эксперимент

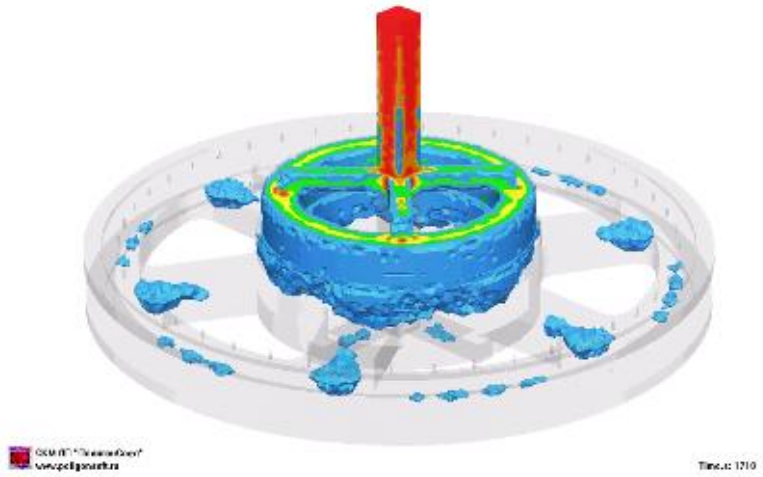
Моделирование

РЕШАТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУР И ПОРИСТОСТИ FOURIER

- Температуры отливки и формы
- Затвердевание
- Гидростатическое давление
- Усадочные раковины
- Макро- и микропористость
- Усадка при центробежном литье
- Радиационный теплообмен
- Направленная кристаллизация
- Непрерывное литье

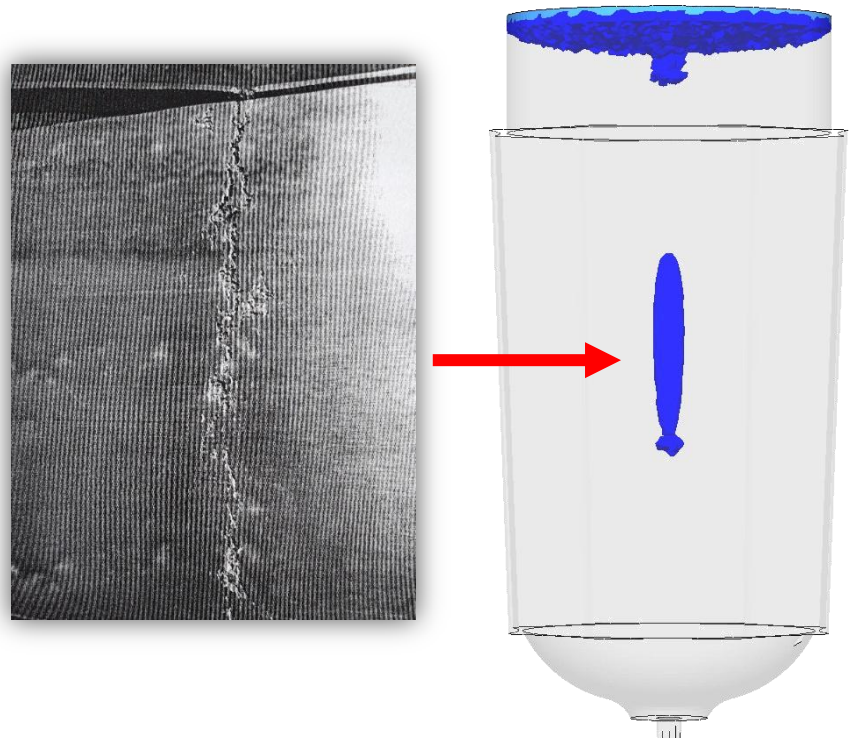


Тепловые узлы (ООО«ДимАл»)

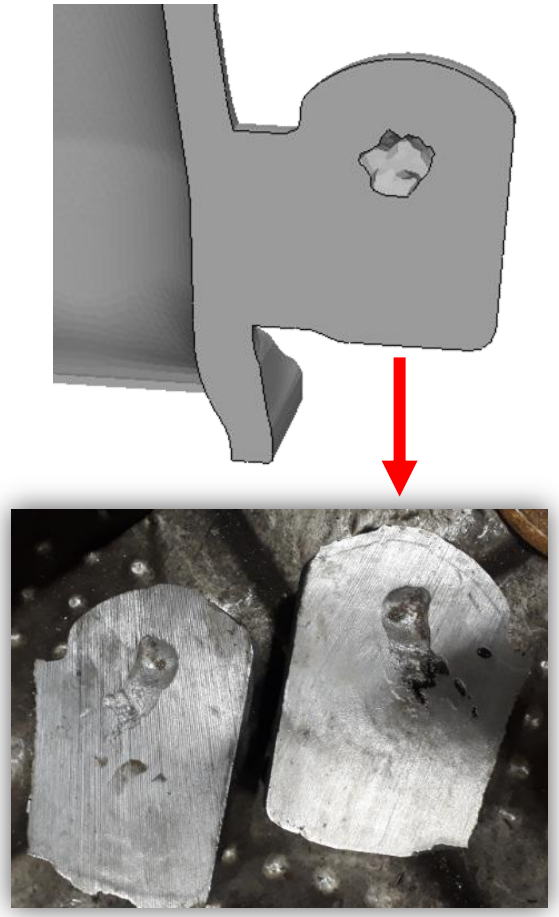


Раковины и пористость (ООО«ДимАл»)

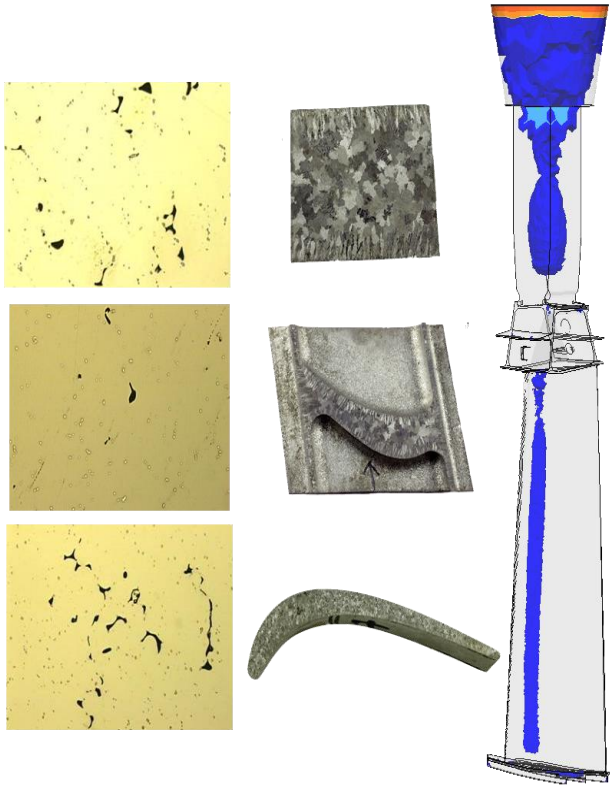
РЕШАТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУР И ПОРИСТОСТИ FOURIER



Осевая пористость в стальном слитке 8 т, «стандартная» модель (АО «Русполимет»)

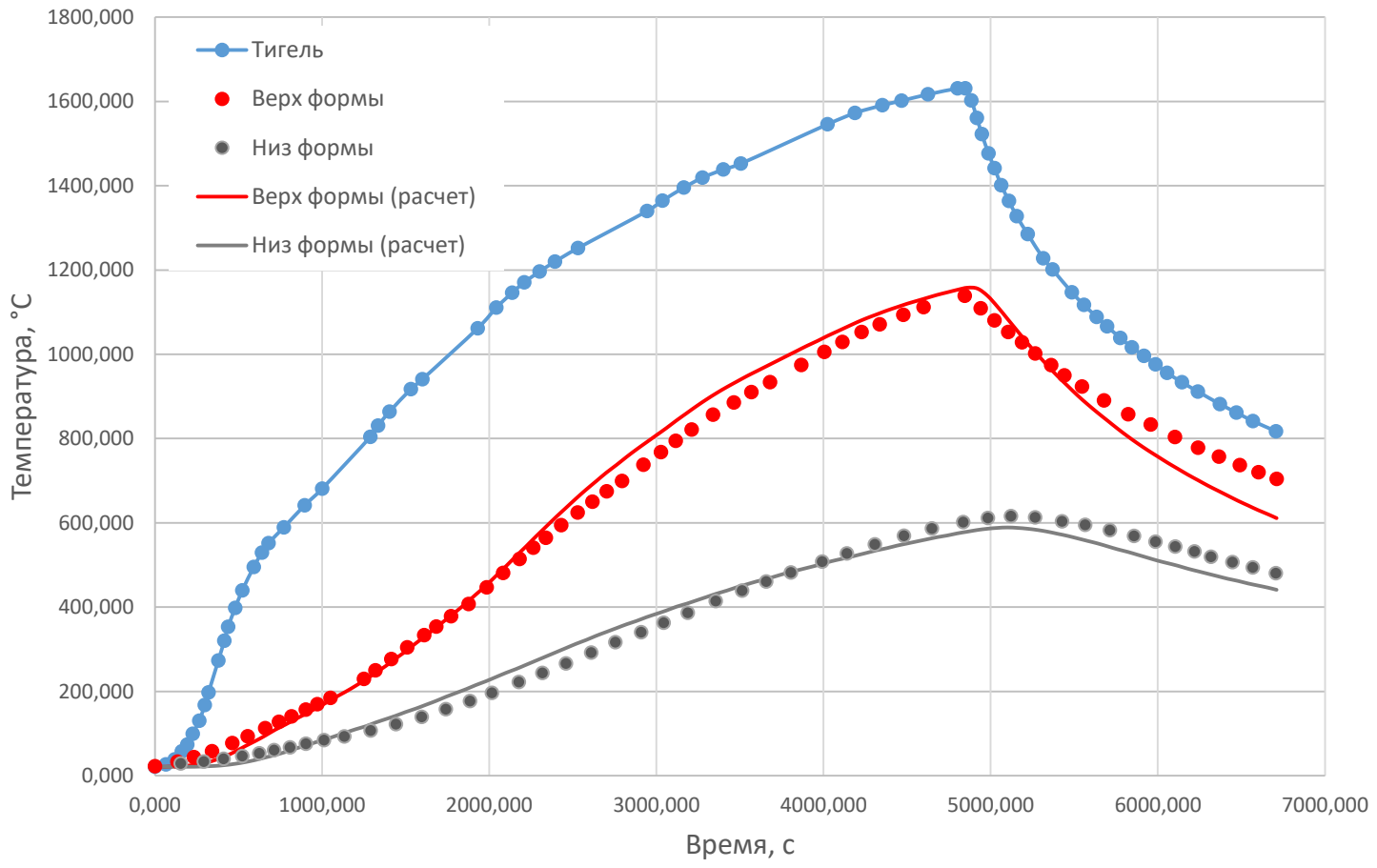


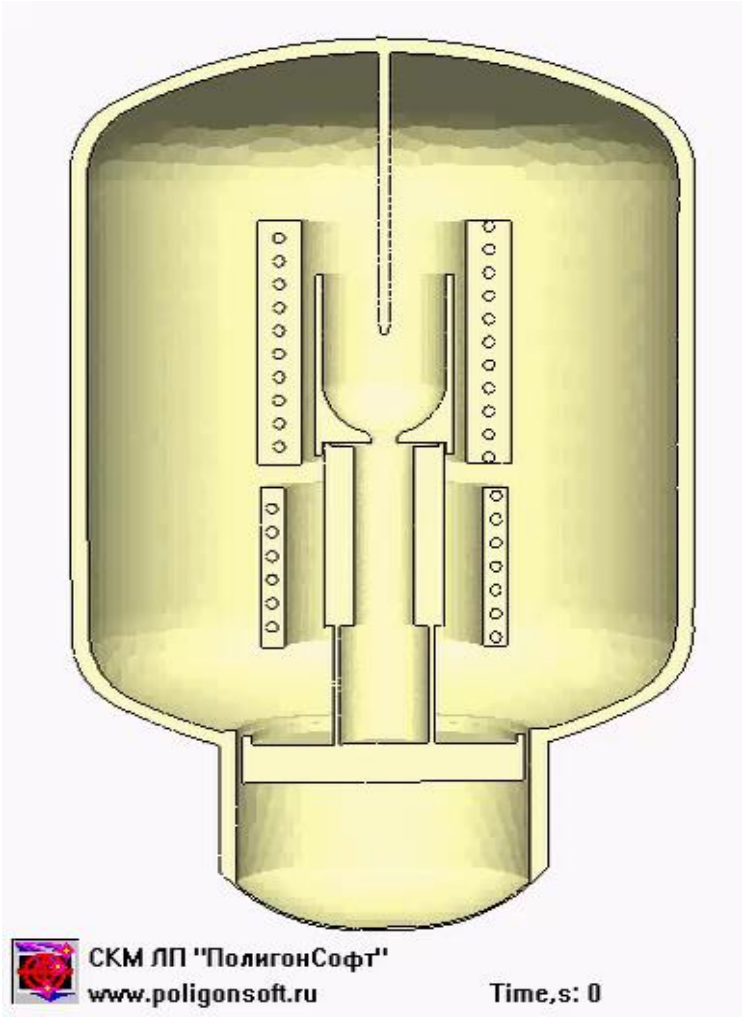
Раковина в стальной отливке, «новая» модель (ООО «СМЗ»)



Микропористость в лопатке ГТД (ПК «Салют» АО «ОДК»)

РЕШАТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУР И ПОРИСТОСТИ FOURIER





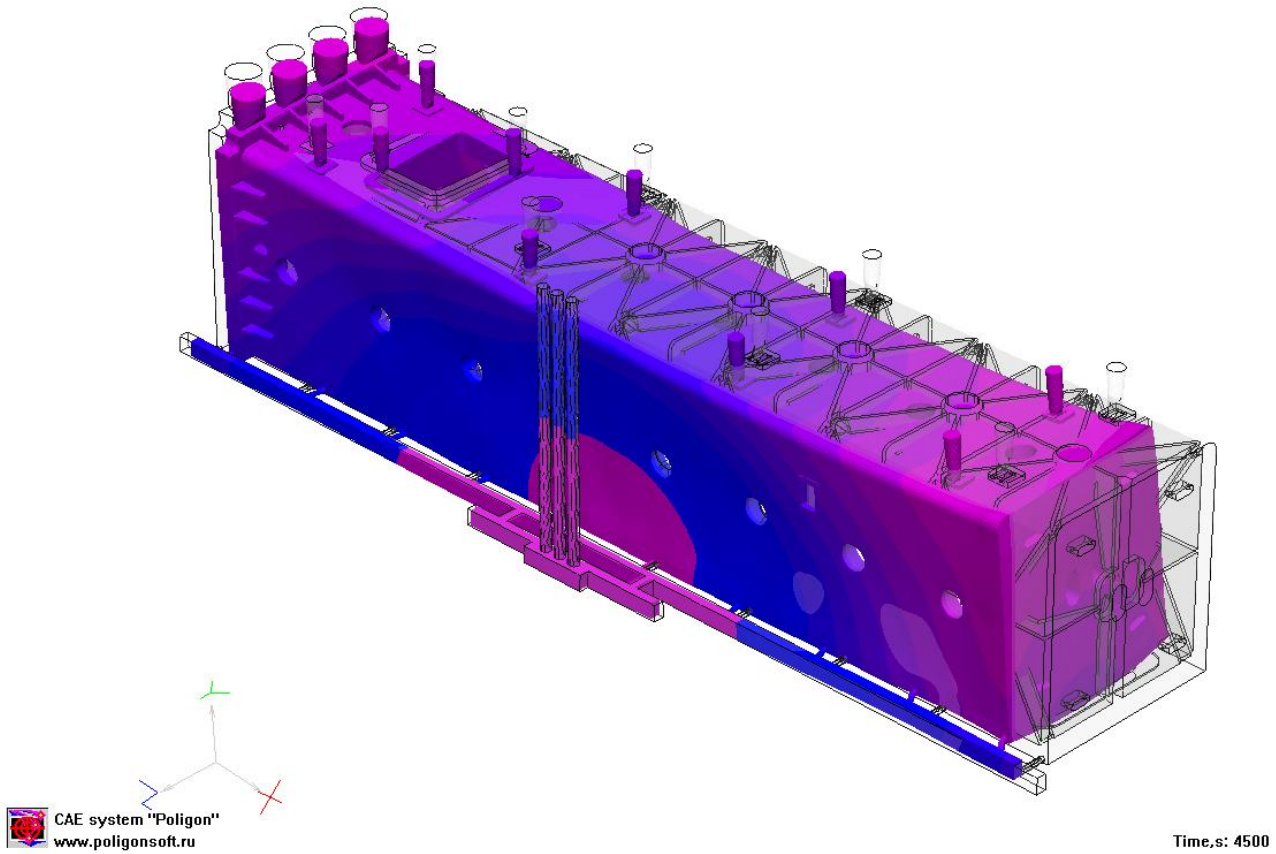
Верификация расчета тепловых полей при радиационном теплообмене в вакууме

POLIGONSOFT

CSoft development

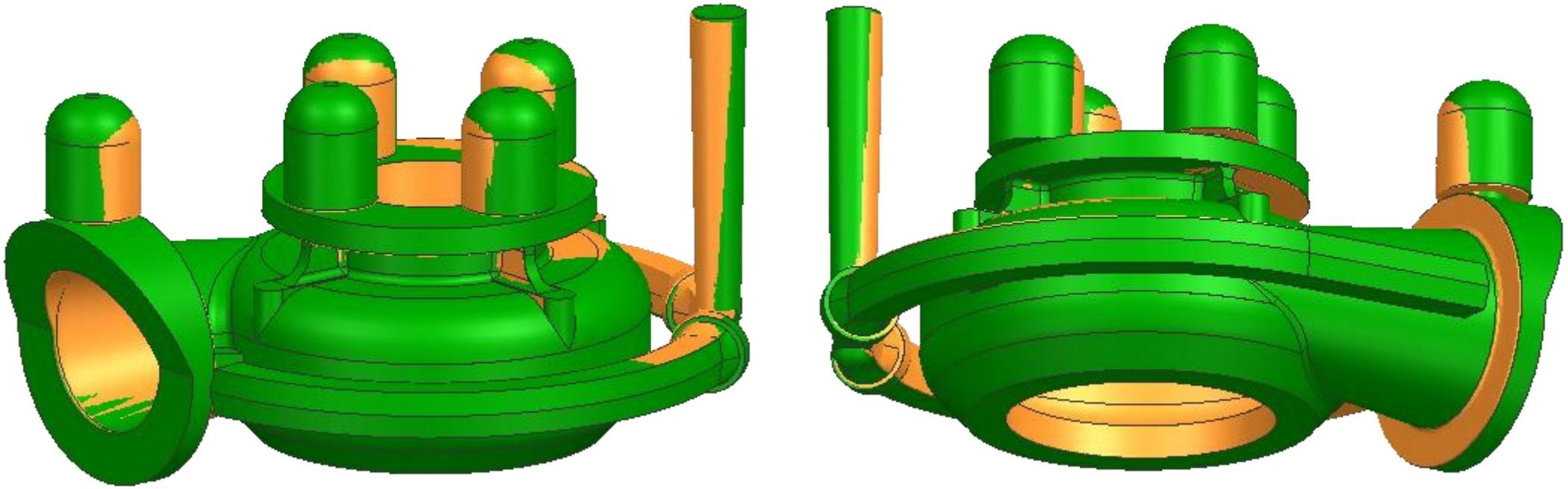
РЕШАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЙ НООКЕ

- Разные модели для отливки и формы
- Контакт с формой (затрудненная усадка)
- Остаточные напряжения
- Накопленные (пластические) деформации
- Критерий горячих трещин
- Критерии разрушения (холодные трещины)
- Извлечение из формы
- Удаление элементов ЛПС
- Спец. модели для непрерывного литья
- Экспорт в CAD



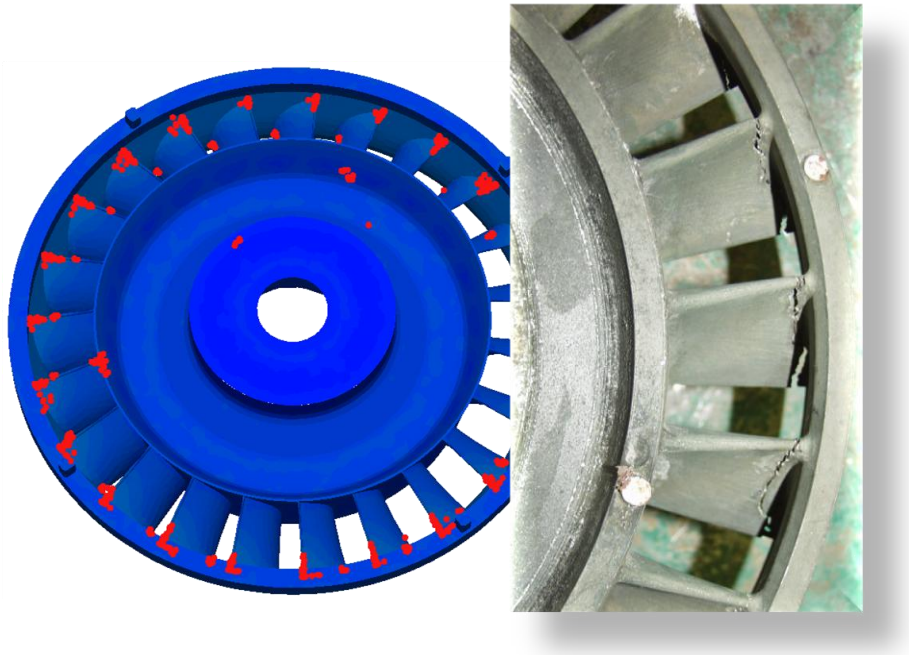
Деформация отливки
(ООО «Литейный завод «Петрозаводскмаш»)

РЕШАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЙ НООКЕ

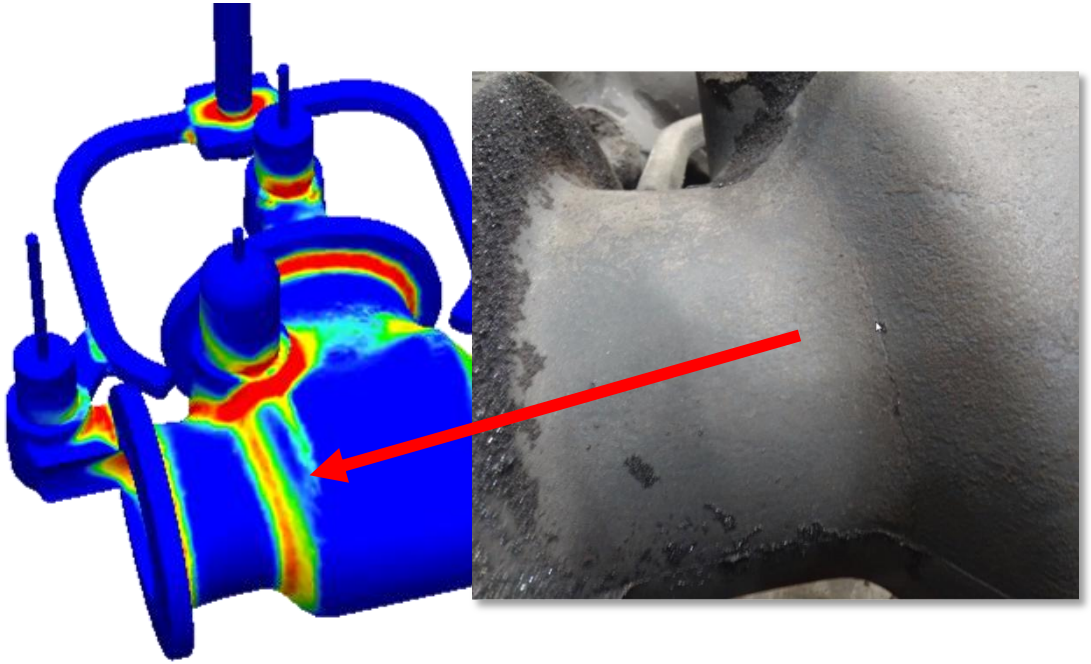


Импорт деформированной STL-модели в CAD

РЕШАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЙ НООКЕ



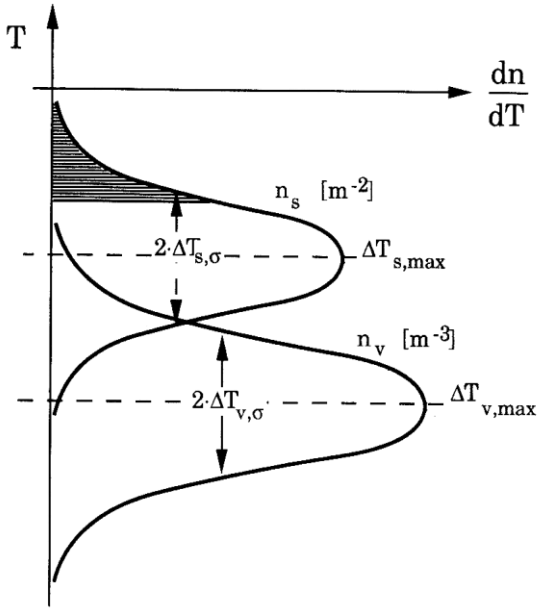
Прогноз образования холодных трещин
(ПК «Салют» АО «ОДК»)

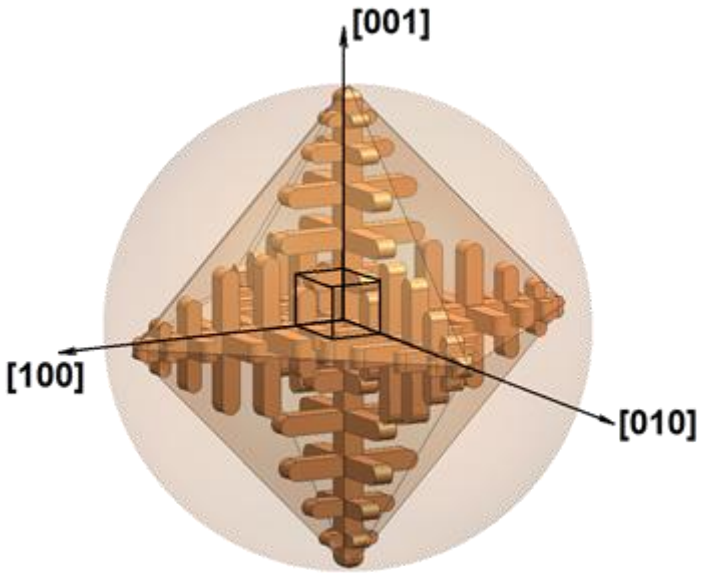


Индикатор горячих трещин
(АО «БАЗ»)

РЕШАТЕЛЬ «МАКРОСТРУКТУРА»

- Моделирование зарождения и роста столбчатых, равноосных структур и монокристаллов
- Переход от столбчатой к равноосной структуре
- Конкурентный рост зерен
- Прогнозирование паразитных кристаллов в монокристаллических деталях
- Равноосное литье (ЛВМ, ПФ, изложницы)
- Направленная кристаллизация
- Монокристальное литье





$$\frac{dn}{d(\Delta T)} = \frac{n_{\max}}{\Delta T_\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta T - \Delta T_{\max}}{\Delta T_\sigma}\right)^2\right]$$

РЕШАТЕЛЬ «МАКРОСТРУКТУРА»

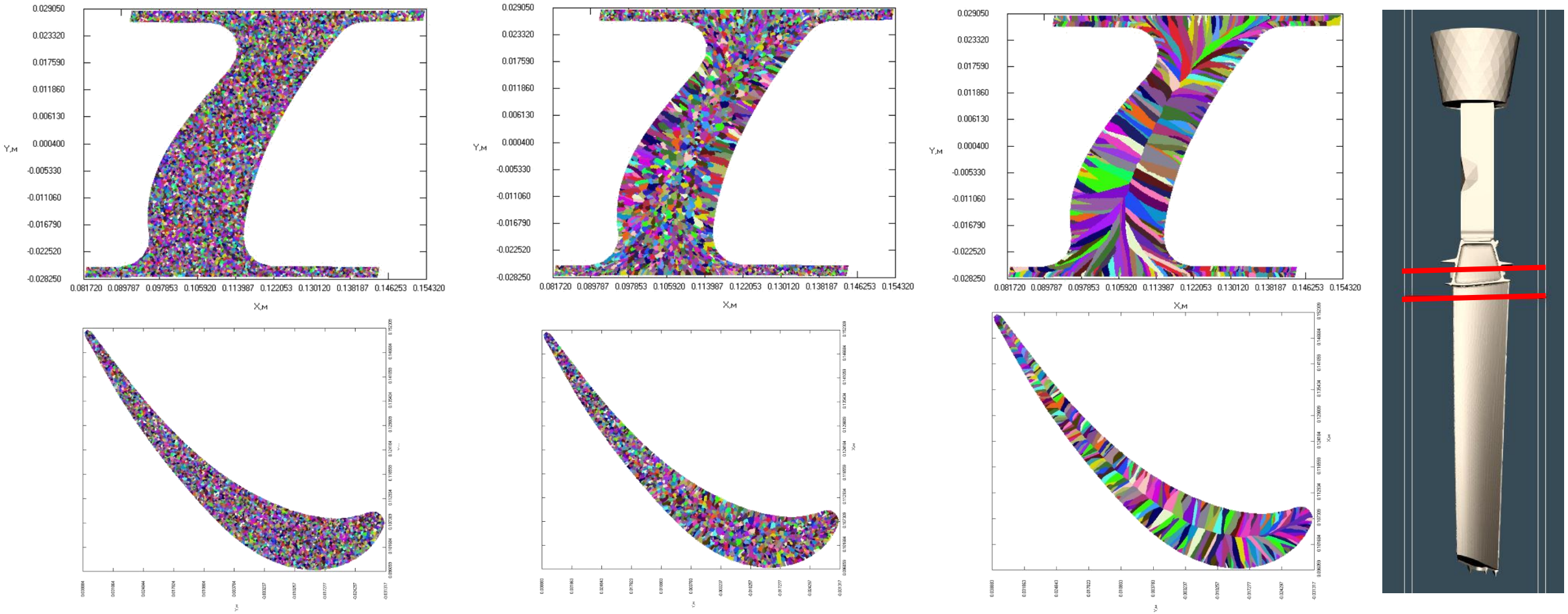
M.Rappaz and Ch.-A.Gandin. Acta Metall.Mater, 1993, v.41, No2, pp. 357 , fig.9

Fig. 9

Решатель «Макроструктура»

Верификация решателя по литературным данным

РЕШАТЕЛЬ «МАКРОСТРУКТУРА»



Макроструктура выбранных сечений лопатки в зависимости от условий затвердевания

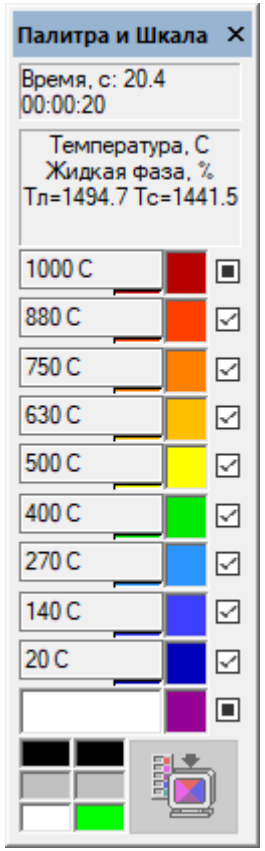
POLIGONSOFT

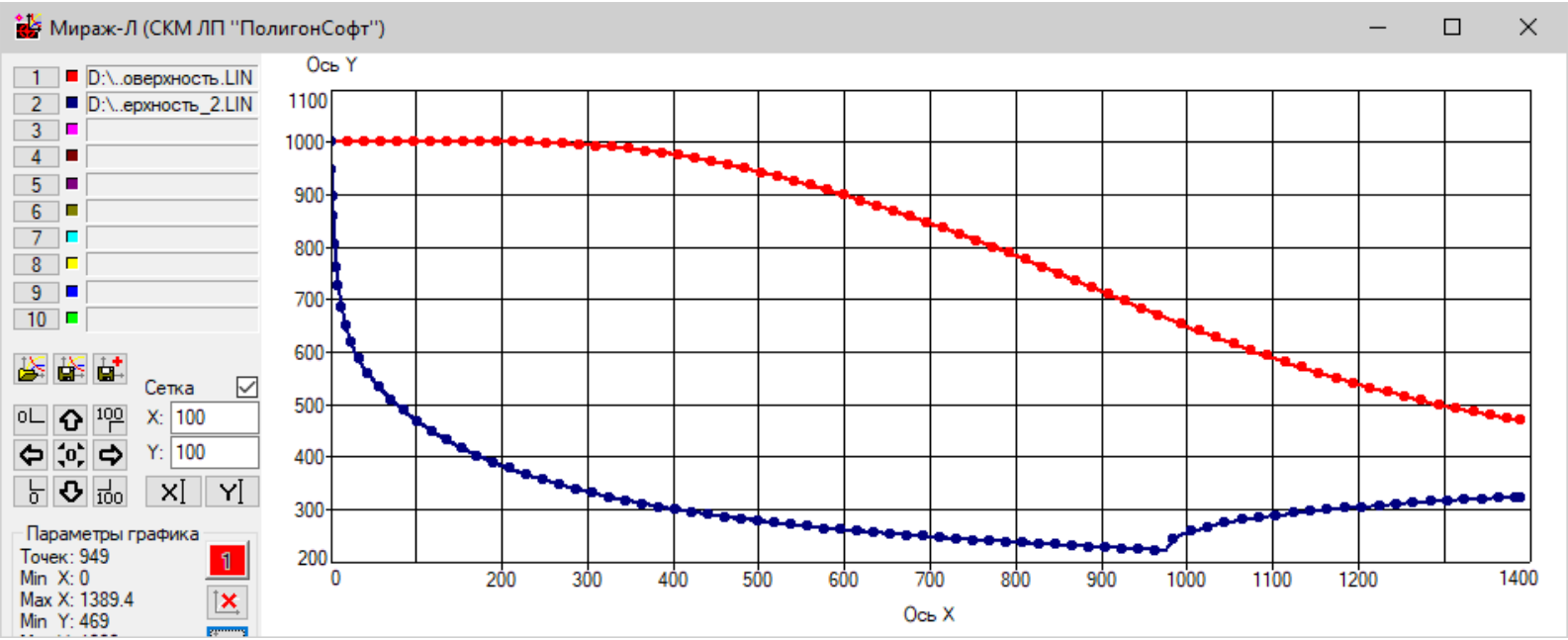
CSoft development

РЕШАТЕЛЬ «ТЕРМООБРАБОТКА»

- Для сталей по ГОСТ 1050-2013, ГОСТ 19281-2014, ГОСТ 21357-87, ГОСТ 4543-2016, ГОСТ 977-88
- Стали для отливок и деформируемые стали
- Закалка
- Нормализация
- Отжиг
- Отпуск
- Структура (мартенсит, бейнит, феррито-перлитная смесь)
- Твердость по Виккерсу
- Предел текучести
- Временное сопротивление
- Относительное удлинение

РЕШАТЕЛЬ «ТЕРМООБРАБОТКА»





Закалка в масло и охлаждении на воздухе вала из стали 40Х

POLIGONSOFT

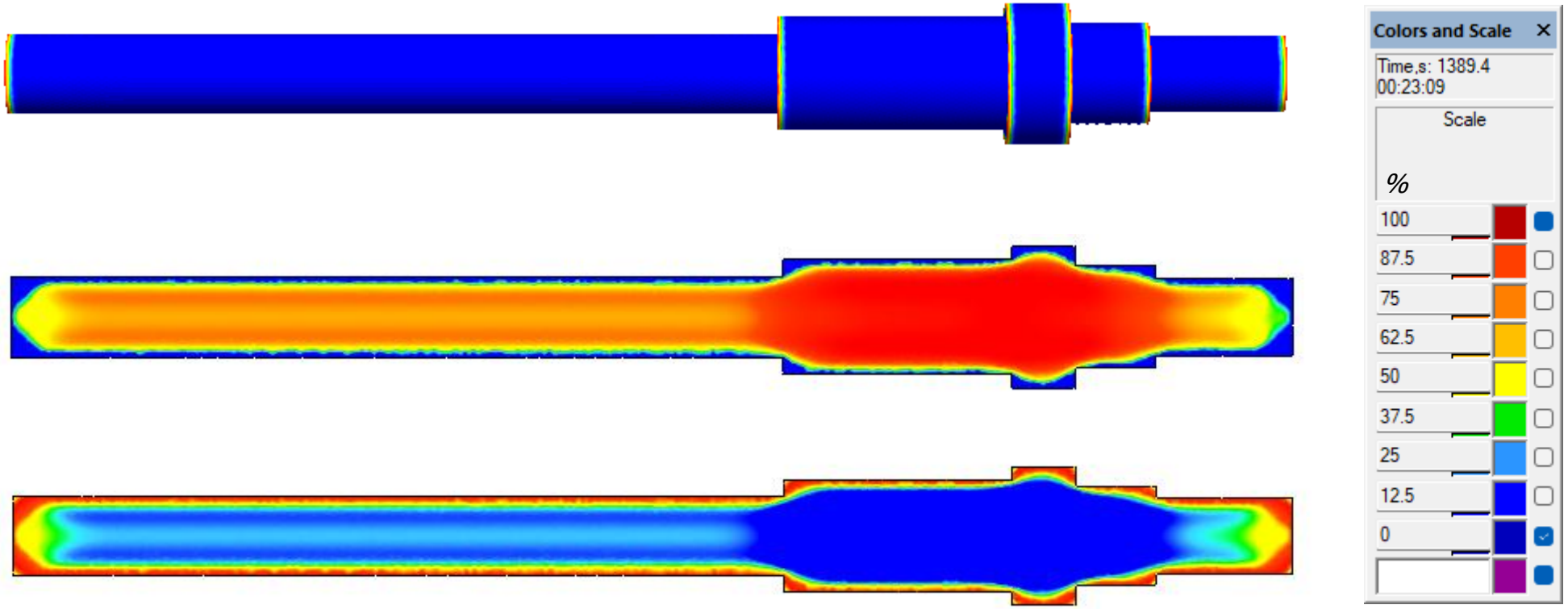
CSoft development

РЕШАТЕЛЬ «ТЕРМООБРАБОТКА»

Мартенсит

Феррито-перлитная смесь

Бейнит



Структура вала из стали 40Х после термической обработки

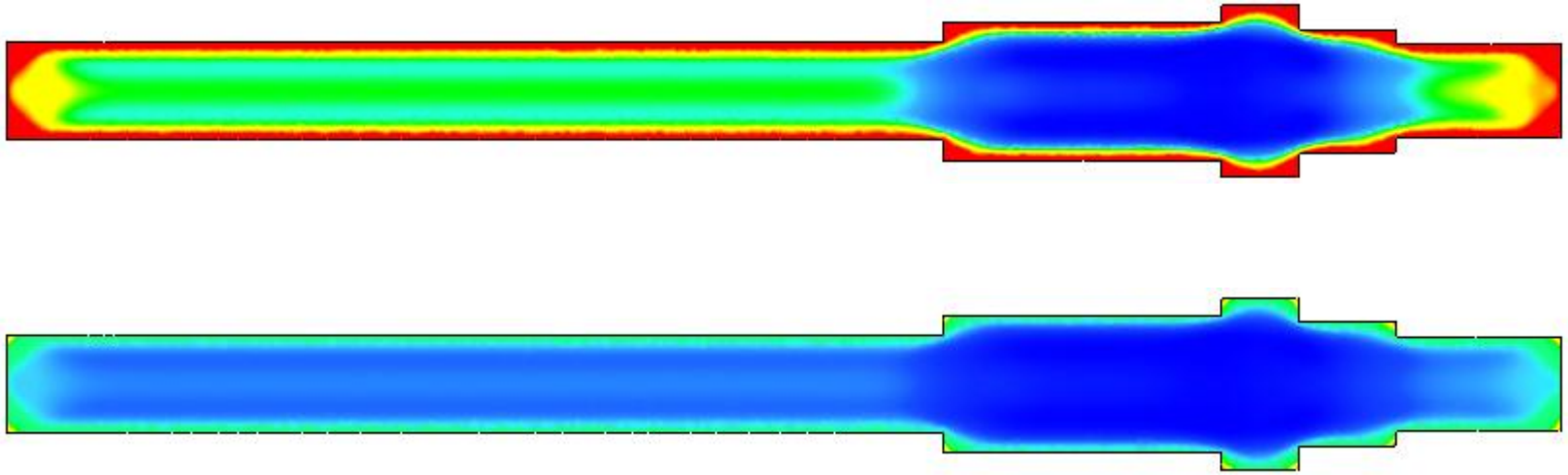
POLIGONSOFT

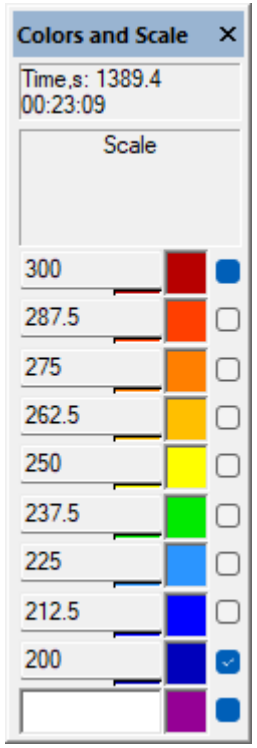
CSoft development

РЕШАТЕЛЬ «ТЕРМООБРАБОТКА»

После закалки

После отпуска





Твердость по Виккерсу

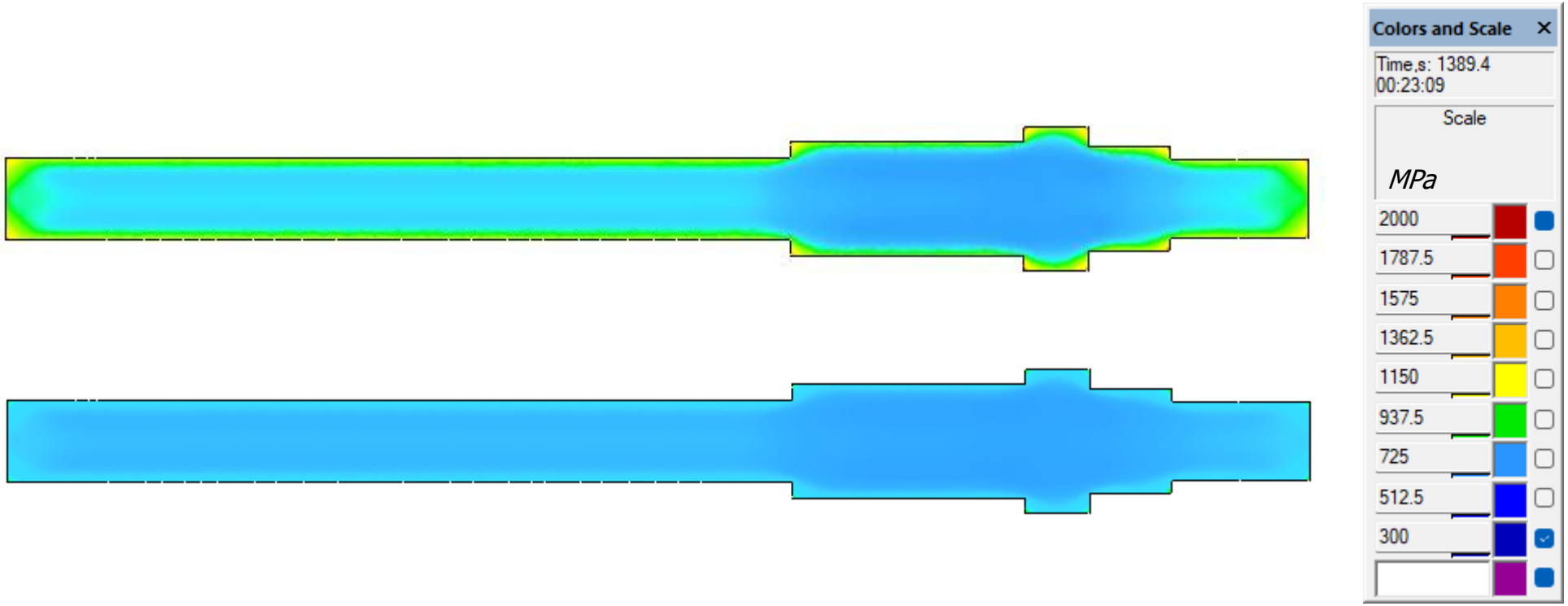
POLIGONSOFT

CSoft development

РЕШАТЕЛЬ «ТЕРМООБРАБОТКА»

После закалки

После отпуска



Временное сопротивление

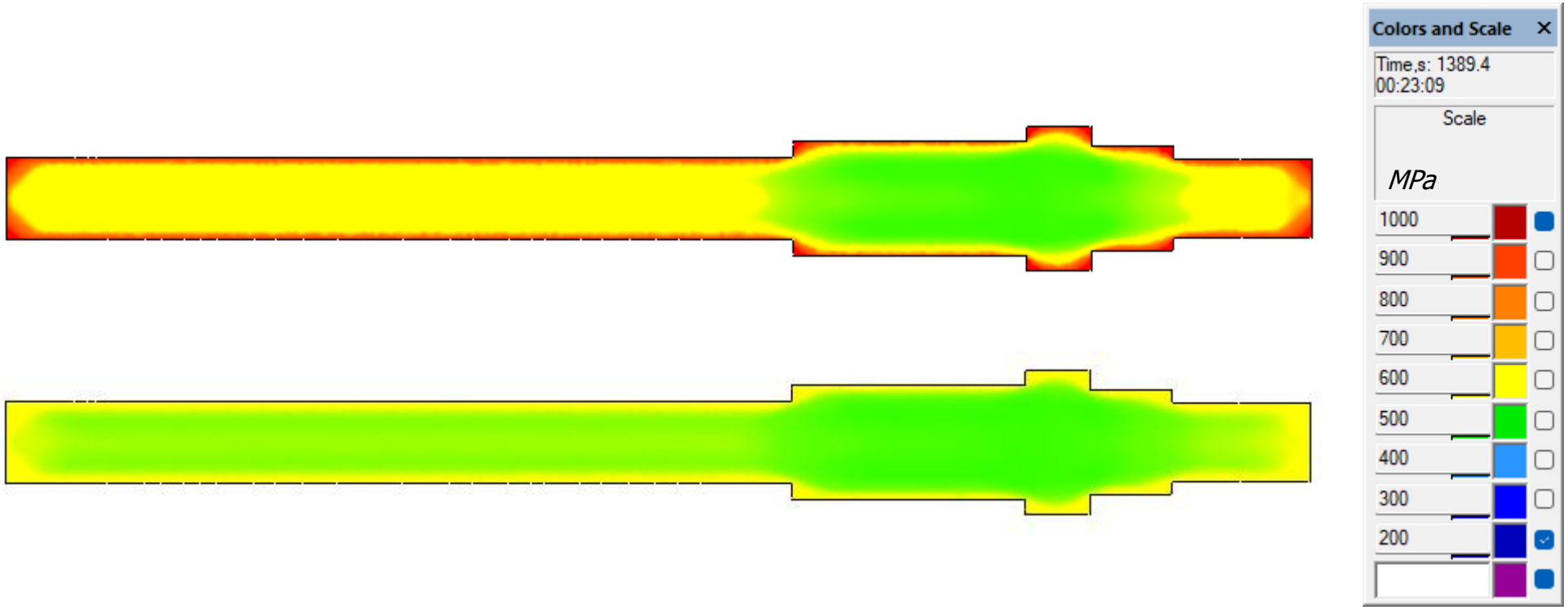
POLIGONSOFT

CSoft development

РЕШАТЕЛЬ «ТЕРМООБРАБОТКА»

После закалки

После отпуска



Предел текучести

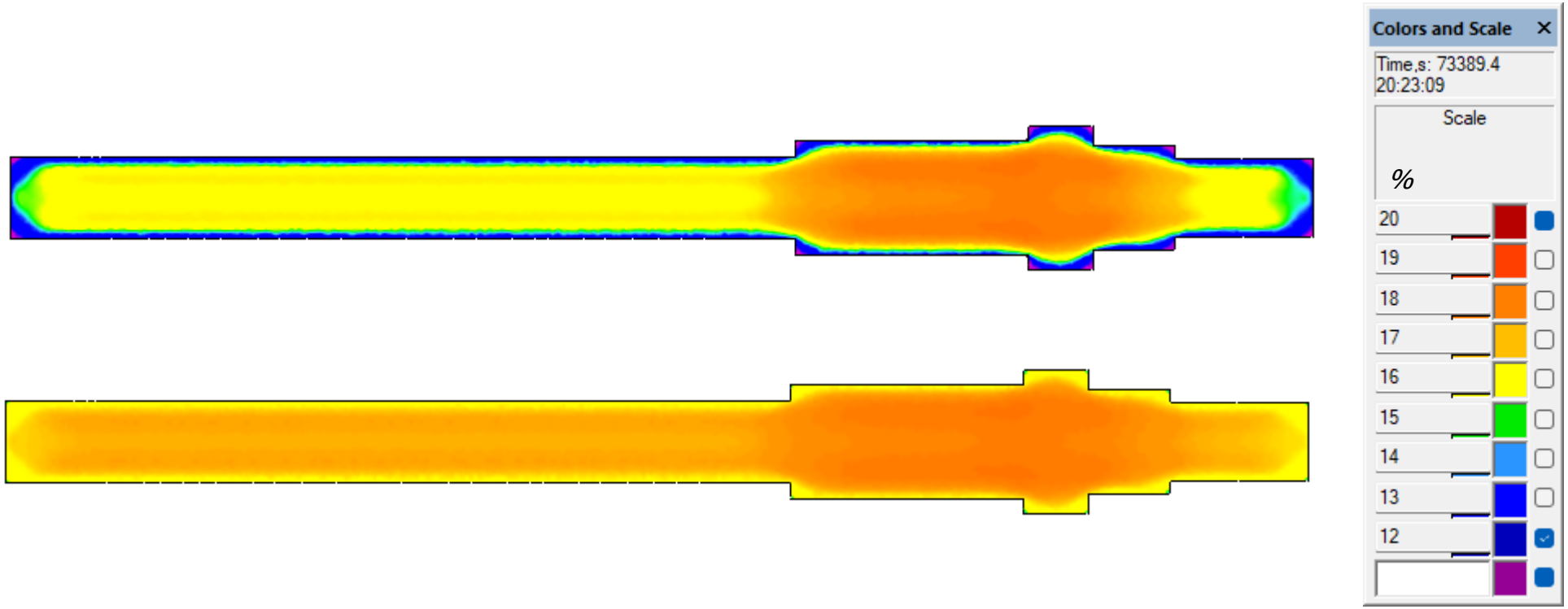
POLIGONSOFT

CSoft development

РЕШАТЕЛЬ «ТЕРМООБРАБОТКА»

После закалки

После отпуска



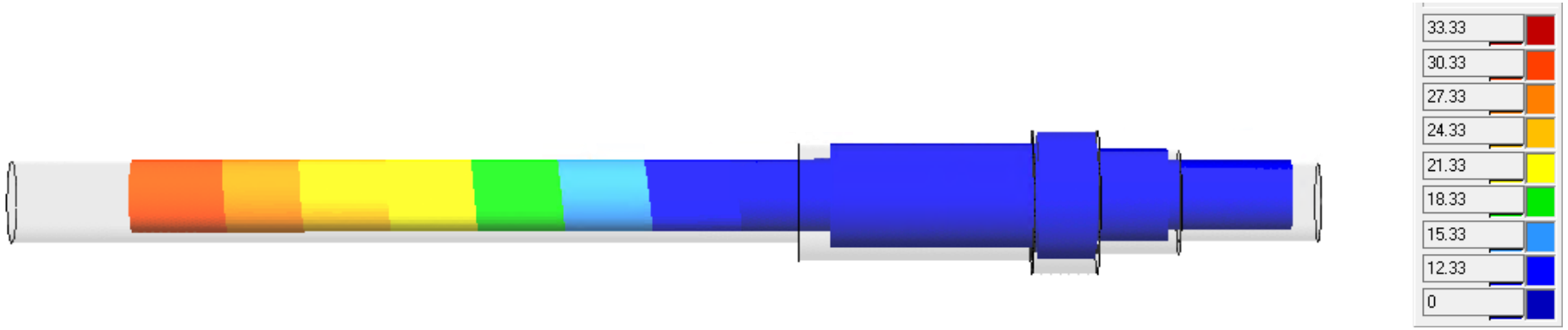
Относительное удлинение

POLIGONSOFT

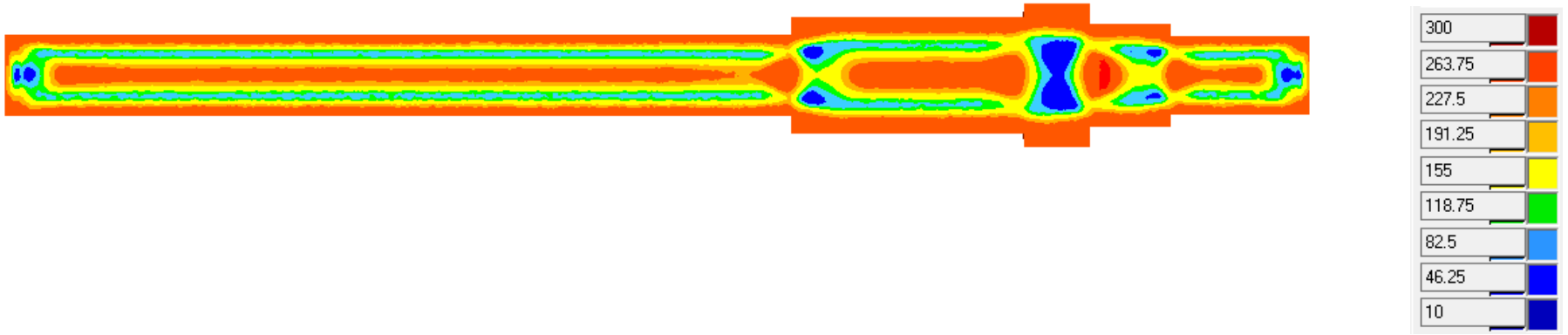
CSoft development

РЕШАТЕЛЬ «ТЕРМООБРАБОТКА»

Изменение размеров, мм (масштаб 10:1)



Интенсивность напряжений, МПа



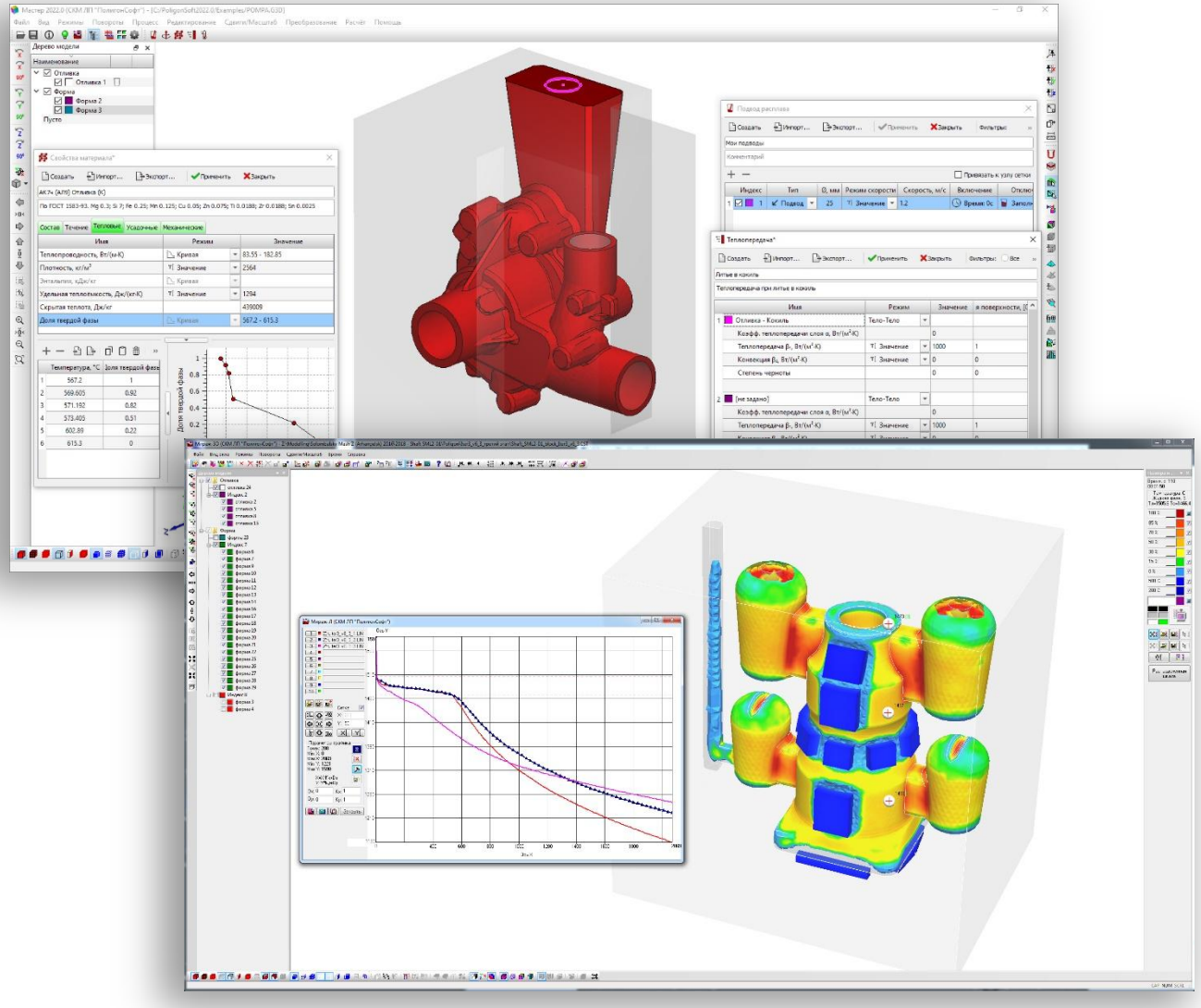
Остаточные напряжения после закалки

POLIGONSOFT

CSoft development

ПРЕИМУЩЕСТВА

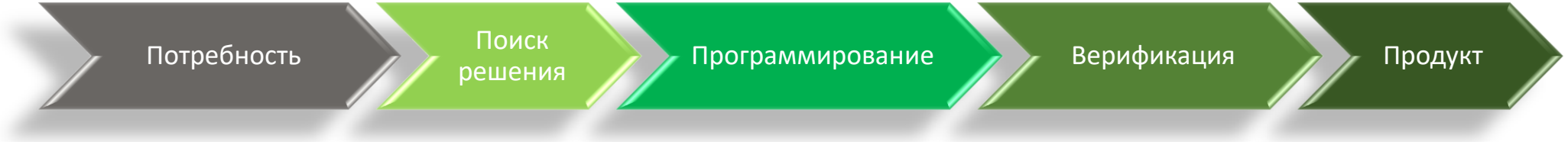
- Точность расчета дефектов усадки (раковины, макро- и микропористость)
- Точность расчета заполнения формы расплавом
- Лучшая модель непрерывного литья заготовок
- Шаблоны технологических процессов
- Бесплатный пре- и постпроцессинг
- Многопоточные вычисления
- Русскоязычный интерфейс и документация
- Связь с командой разработчиков
- Лицензированный учебный центр
- Профессиональная поддержка пользователя
- Отсутствие политики штрафов



Создание нового функционала

Модуля, математической модели, алгоритма

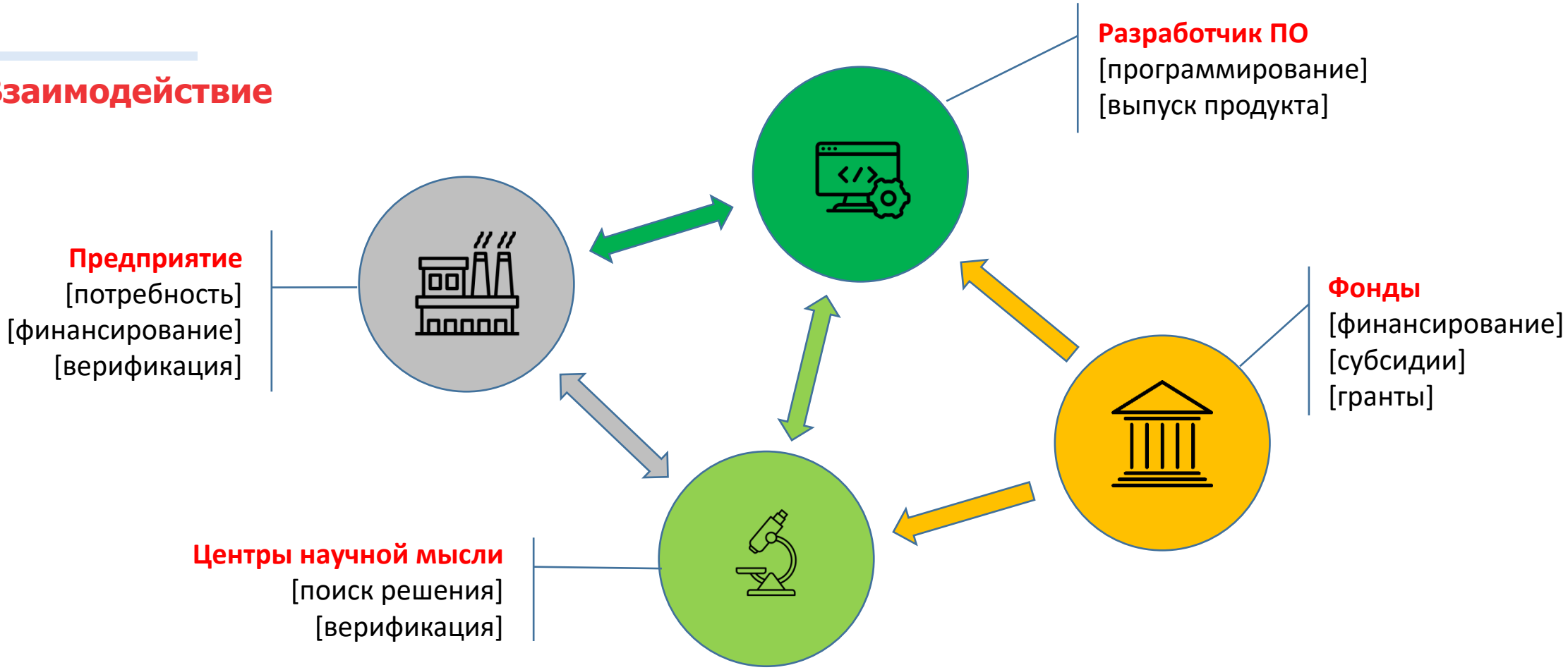
Что нужно, чтобы создать что-то полезное для технолога?



Создание нового функционала

Модуля, математической модели, алгоритма

Взаимодействие



Создание нового функционала

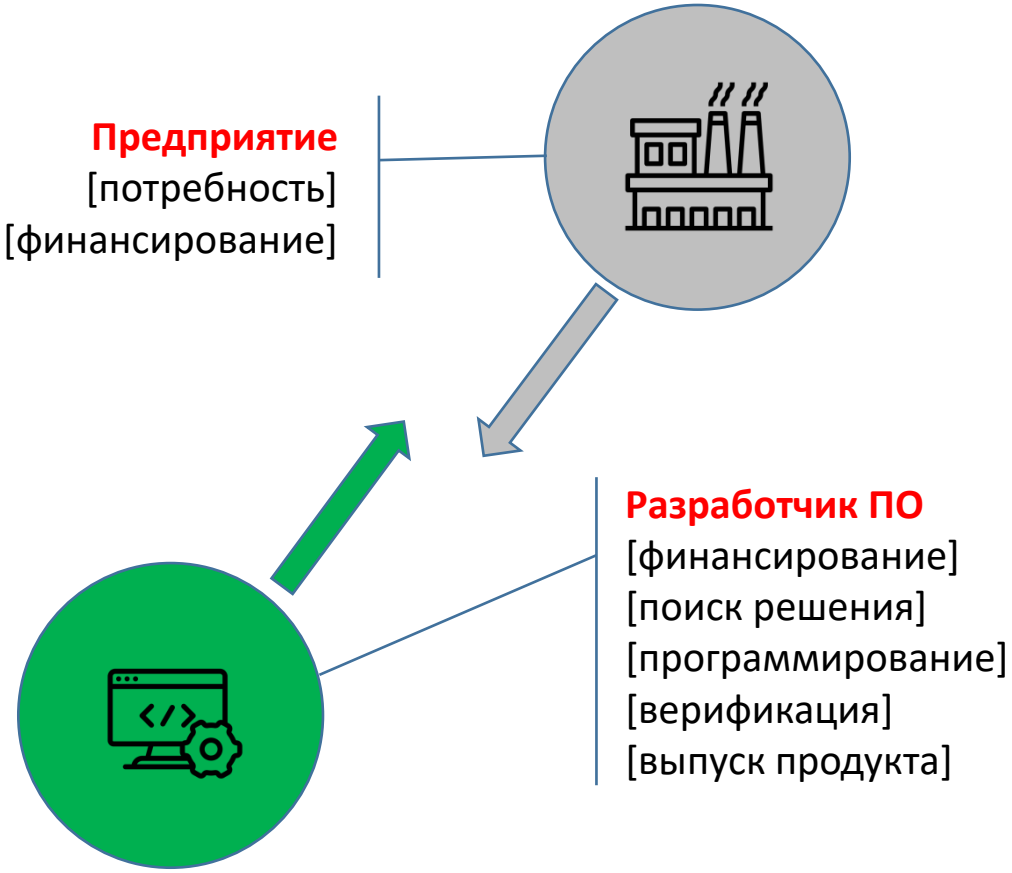
Модуля, математической модели, алгоритма

Взаимодействие

Нехватка участников процесса ведет к снижению темпов разработки, качеству продукта, недовольству потенциального заказчика.

Выводы:

- необходимо более плотное сотрудничество с центрами научной мысли (ВУЗы, научные центры и институты)
- необходимо привлекать внешние источники финансирования
- необходима большая активность заказчика



Создание нового функционала

Модуля, математической модели, алгоритма

Кадровая проблема

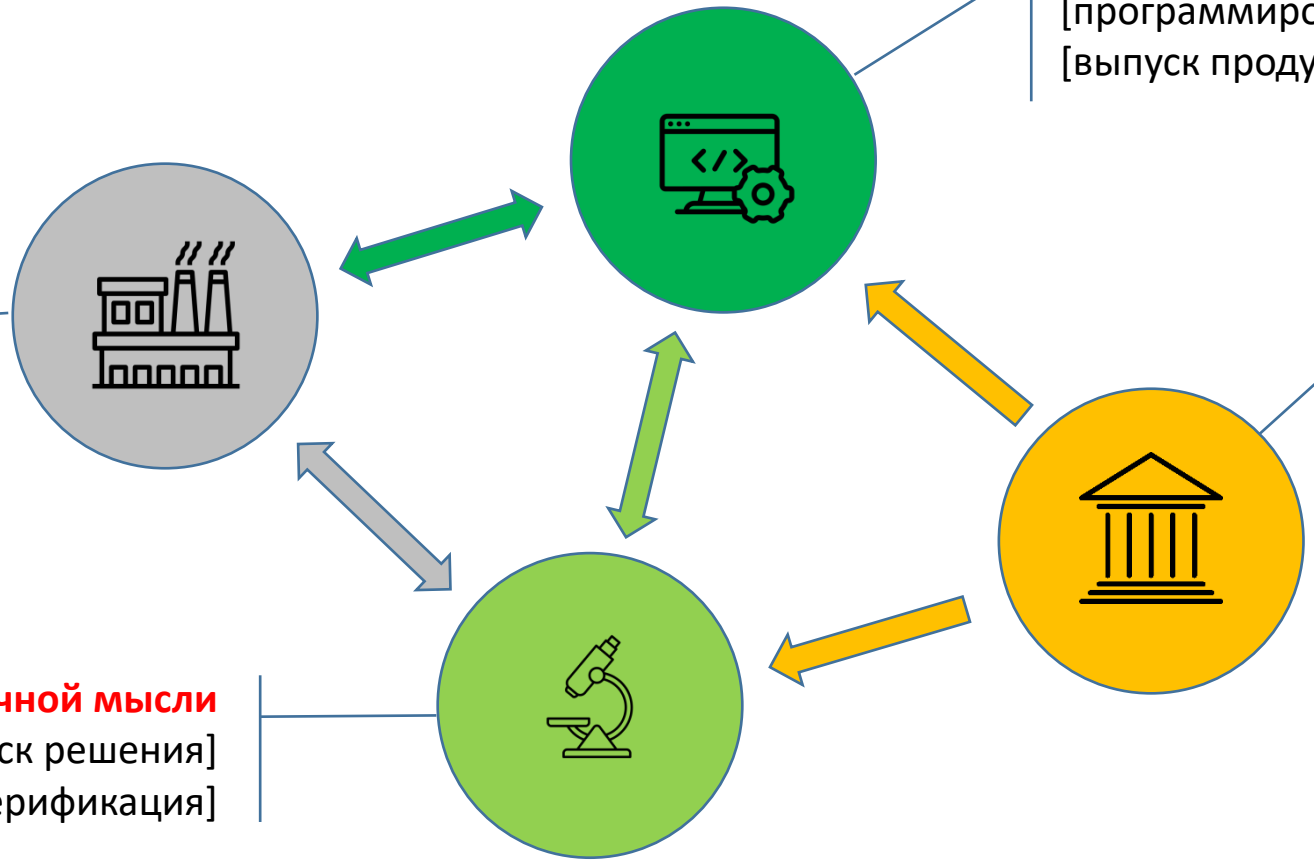
Не имея возможности сотрудничать с центрами научной мысли, разработчик должен решить проблему поиска квалифицированных кадров.

Не имея плотного контакта с потенциальным заказчиком, производитель должен решить проблему верификации.

Заключение

Создание новых принципов взаимодействия

Взаимодействие



Разработчик ПО
[программирование]
[выпуск продукта]

Предприятие
[потребность]
[финансирование]
[верификация]

Фонды
[финансирование]
[субсидии]
[гранты]

Центры научной мысли
[поиск решения]
[верификация]

СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!

CSDEV.RU/+7 (495) 069-44-44