

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Владимирский государственный университет  
Кафедра литейных процессов и конструкционных материалов

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИНЖЕНЕРНЫЙ  
АНАЛИЗ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ»**

Составитель  
Ю.А. НОВИКОВА

Владимир 2010

УДК 004.92  
ББК 32.973-018.1  
М54

Рецензент  
Кандидат технических наук, доцент кафедры  
технологии машиностроения  
Владимирского государственного университета  
*А.В. Жданов*

Печатается по решению редакционного совета  
Владимирского государственного университета

**Методические** указания к лабораторным работам по дис-  
M54 цipline «Инженерный анализ литейных процессов» / Владим.  
гос. ун-т ; сост. Ю. А. Новикова. – Владимир : Изд-во Владим.  
гос. ун-та, 2010.– 36 с.

Содержат методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Инженерный анализ литейных процессов», в которых рассматриваются основы работы в системе компьютерного моделирования Pro-Cast, шаблоны процессов циклического моделирования объектов литейного производства.

Составлены в соответствии с типовой программой по дисциплине «Инженерный анализ литейных процессов» для студентов специальности 150104 – литейное производство черных и цветных металлов и направления 150100 – металлургия.

Ил. 40. Библиогр.: 7 назв.

УДК 004.92  
ББК 32.973-018.1

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемые студенту методические указания согласно государственным стандартам кратко охватывают основные приемы работы с программным виртуальным пакетом. Такой подход в проектировании чрезвычайно удобен. У студентов появляется возможность «проиграть» на компьютере процессы, протекающие при формировании отливки, и в случае получения брака на виртуальной модели отливки (а не в реальности) отследить ошибки, допущенные при разработке технологии, внести коррективы в технологию с учетом увиденного и снова проверить исправленную технологию на компьютере, и так вновь и вновь, вплоть до достижения оптимального результата, который и будет затем реализован в производстве.

Цели данного методического указания:

- осуществить четкое изложение основных понятий с позиций современных подходов в информационных технологиях;
- изложить методические указания к лабораторным работам в полном соответствии с действующими государственными стандартами по курсу “Инженерный анализ литейных процессов” для технических направлений и специальностей;
- приобрести необходимые основы знаний по системам автоматизированного проектирования студентам начальных курсов для изучения последующих дисциплин: «Основы автоматизированного проектирования», «Основы математического моделирования», «Информационные технологии в металлургии» и т.д.

Приступая к выполнению практических занятий, студент должен заранее при подготовке к работе ознакомиться с методическими материалами по данной работе, изложенными в методических указаниях к лабораторным работам, и с рекомендованной литературой.

В течение очередного занятия студенты должны продемонстрировать умение делать полновесные выводы по анализу гидродинамики и процессов заливки, температурного режима затвердевания отливки до выявления тепловых узлов, прогнозировать появление усадочных дефектов, т.е. “заглянуть” внутрь отливки. Надлежащим образом оформленные результаты в электронном виде считаются отчетом по предыдущей работе, и студент получает допуск к выполнению следующей работы.

# 1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ПРОГРАММ

## 1.1. Модуль MeshCAST

ProCAST – система, построенная на модульном принципе (рис. 1)

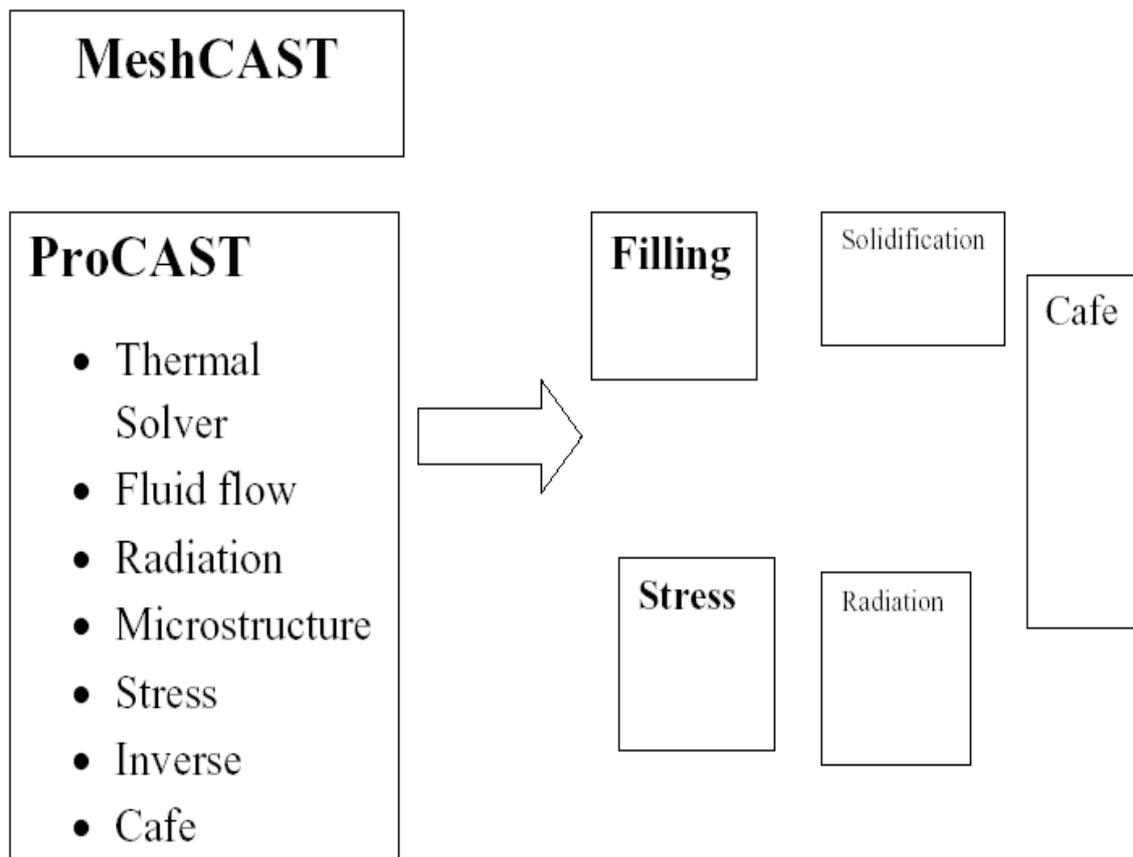


Рис. 1. Блок-схема модулей ProCast

Вычислительные ресурсы ProCAST определяются решателями, реализующими самые передовые расчетные модели и подходы:

- ProCAST Thermal Solver – расчетный модуль для моделирования тепловых явлений в процессе заливки формы и кристаллизации отливки. Эффективно моделируется многоцикловое литье в постоянные формы (учитывается постепенный прогрев формы в процессе выпуска партии деталей), а также процессы образования макро- и микропористости.

- Radiation Module – модуль расчета теплоизлучения в процессе кристаллизации отливки. Система учитывает разнообразные эффекты влияния теплоизлучающих отливок и других элементов системы друг на друга: прямое воздействие тепловых лучей, эффекты отражения, затенения по законам «визуальных факторов». Нагревательные элементы, отражающий экран, система охлаждения могут двигаться относительно отливки по заданным законам, при этом значения визуальных факторов автоматически пересчитываются.

- ProCAST Flow Solver – модуль, рассчитывающий течение потока расплава и анализирующий заполнение формы. Система ProCAST моделирует течение потока расплава со свободными поверхностями на основе уравнения течения Навье – Стокса и учитывает особенности различных методов литья. Таким образом, один и тот же модуль Fluids Module может использоваться для любого типа заполнения вплоть до самых высоких скоростей течения, встречающихся при литье под давлением.

- ProCAST Stress Solver – модуль расчета напряжений и деформаций (термические напряжения) по упругопластичным и упруговязкопластичным моделям. В системе ProCAST можно рассчитывать остаточные напряжения, пластические деформации и получать конечную форму отливки с учетом деформаций и действующих напряжений.

- Grain Structure Module (CAFE) – модуль стохастического прогнозирования качества процесса кристаллизации отливки, а также моделирования эволюции зерен и их роста в структуре расплава при затвердевании.

- Microstructure Module – расчет фазовых состояний микроструктуры для сплавов.

- Inverse Module – модуль обратного моделирования для уточнения граничных условий процесса по полученным экспериментальным замерам.

- Porosity Module – расчет макро- и микропористости в получаемой отливке. Модель расчета тесно связана с прогнозированием «горячего» растрескивания, к которому пористость и может привести при появлении деформаций и внутренних напряжений. Система находит и отмечает зоны наиболее вероятного появления таких дефектов.

ProCAST представляет собой законченное решение, охватывающее широкий спектр литья металлов и сплавов. Большая часть сталей, чу-

гунов, сплавов Al, Co, Cu, Mg, Ni, Ti и Zn представлена в соответствующих базах данных системы, открытых для пополнения и обновления. Интуитивно понятный интерфейс позволяет автоматически рассчитать свойства сплава, просто задавая его состав.

Все модули моделируют реальную физику соответствующих процессов (теплопроводность, потоки, напряжения и т.д.) и, следовательно, применимы к любому типу технологических процессов литья, где должны учитываться эти физические явления. Модульного деления по виду применяемых материалов нет. Благодаря этому, например, один и тот же модуль течения Fluids Module может успешно применяться для чугуна, стали, алюминия и так далее, причем система по умолчанию учитывает специфику расчета выбранного материала. Таким образом, программный комплекс ProCAST, применимый к различным технологическим процессам литья и располагающий сложным математическим аппаратом, адекватно описывает физику литейных процессов и позволяет полноценно проанализировать технологию с учетом любых условий литейного производства. Гибкость этого пакета в сочетании с практическим опытом его разработчиков гарантируют, что ProCAST позволит решать любые новые задачи, которые появятся со сменой технологий на предприятии.

В системе ProCAST необходимо выполнить определенную последовательность шагов:

- сгенерировать конечно-элементную модель;
- подготовить данные для расчета;
- произвести собственно расчет;
- интерпретировать его результаты.

Рис. 2 иллюстрирует блок-схему работы в ProCAST.

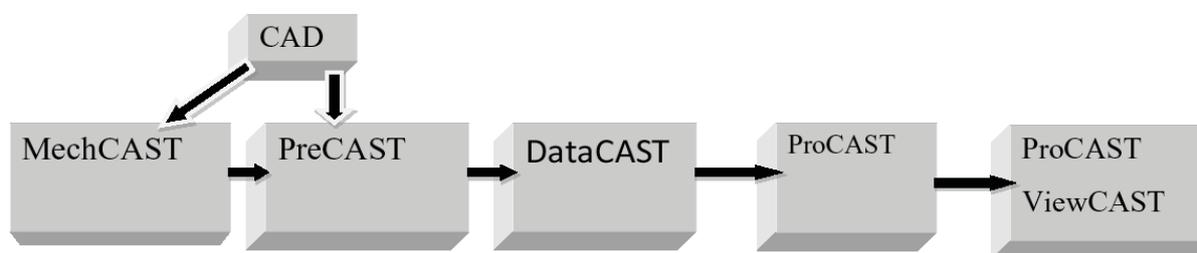


Рис. 2. Блок-схема работы системы ProCast

Meshcast – это полностью автоматический генератор 2D и 3D (тетраэдральной) конечно-элементной сетки для системы ProCAST. Он позволяет осуществлять чтение CAD-моделей, проверку импортированной геометрии и при необходимости ее «лечение». В Meshcast также включен генератор оболочек, предназначенный для моделирования литья по выплавляемым моделям.

PreCAST – это препроцессор для ProCAST, позволяющий пользователю считывать конечно-элементную модель, назначать свойства материалов для различных компонентов модели, задавать контактные, граничные и начальные условия.

DataCAST компилирует настройки и создает необходимые для расчета файлы.

ProCAST выполняет анализ.

ViewCAST – постпроцессор, позволяющий пользователям визуализировать результаты расчета в виде отчета ProCAST.

Пользователь проходит указанные шаги с помощью менеджера файлов (file manager).

## 1.2. MeshCAST

MeshCAST – это полностью автоматический генератор 2D и 3D (тетраэдральной) конечно-элементной сетки для системы ProCAST. Он позволяет осуществлять чтение CAD-моделей, проверку импортированной геометрии и при необходимости ее «лечение». В Meshcast также включен генератор оболочек, предназначенный для моделирования литья по выплавляемым моделям.

MeshCAST имеет интерфейс с различными форматами CAD-приложений (рис. 3). Дополнительно к собственно файлам ProCAST, MeshCAST может читать следующие форматы:

- геометрия: *iges*, *step*, *parasolid* и *stl*;
- поверхностные сетки: *patran* и *ideas*;
- объемные сетки: *patran* и *ideas*.

Обычно пользователь должен загрузить геометрию, проверить ее качество (геометрия в конечном счете должна быть исправлена, упрощена и улучшена). Должна быть сгенерирована поверхностная сетка, а на ее основе – объемная сетка. Должна быть произведена проверка качества объемной сетки и ее оптимизация.

После этого объемная сетка готова для передачи в PreCAST - модуль препроцессора для ProCAST.

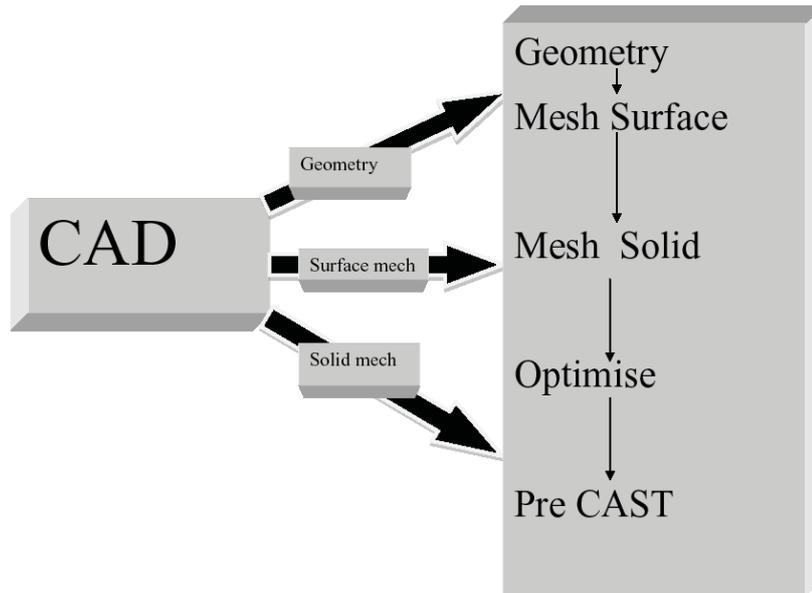


Рис. 3. Блок-схема работы модуля MeshCast

### 1.3. PreCAST

PreCAST – это препроцессор для ProCAST, позволяющий пользователю считывать конечноэлементную модель, назначать свойства материалов для различных компонентов модели, задавать контактные, граничные и начальные условия (рис. 4).

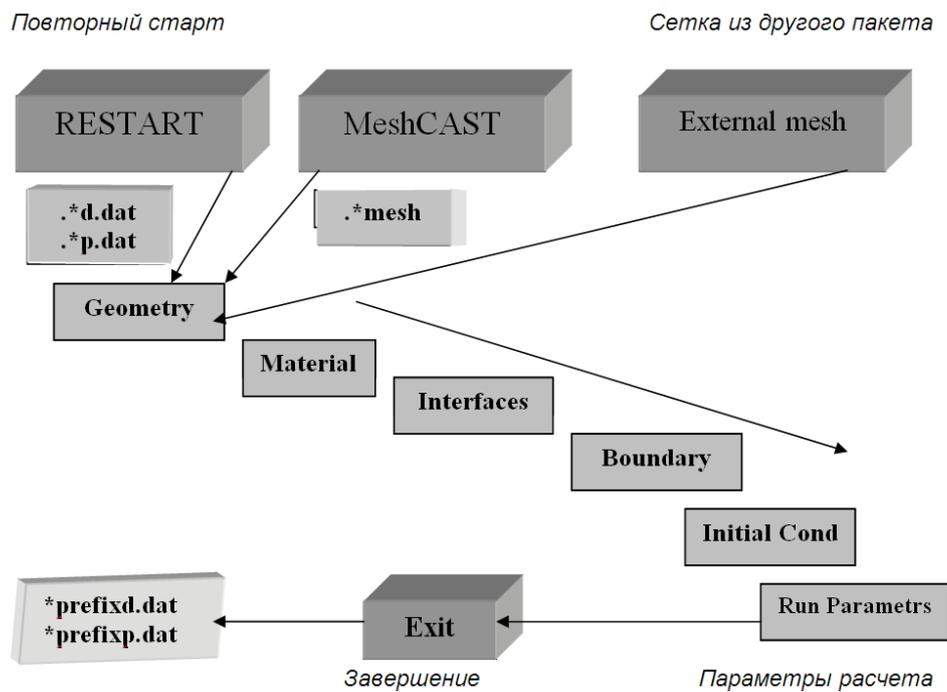


Рис. 4. Блок-схема работы модуля PreCast

## 1.4. ProCAST

DataCAST компилирует настройки и создает необходимые для расчета файлы.

ProCAST осуществляет анализ (рис. 5).

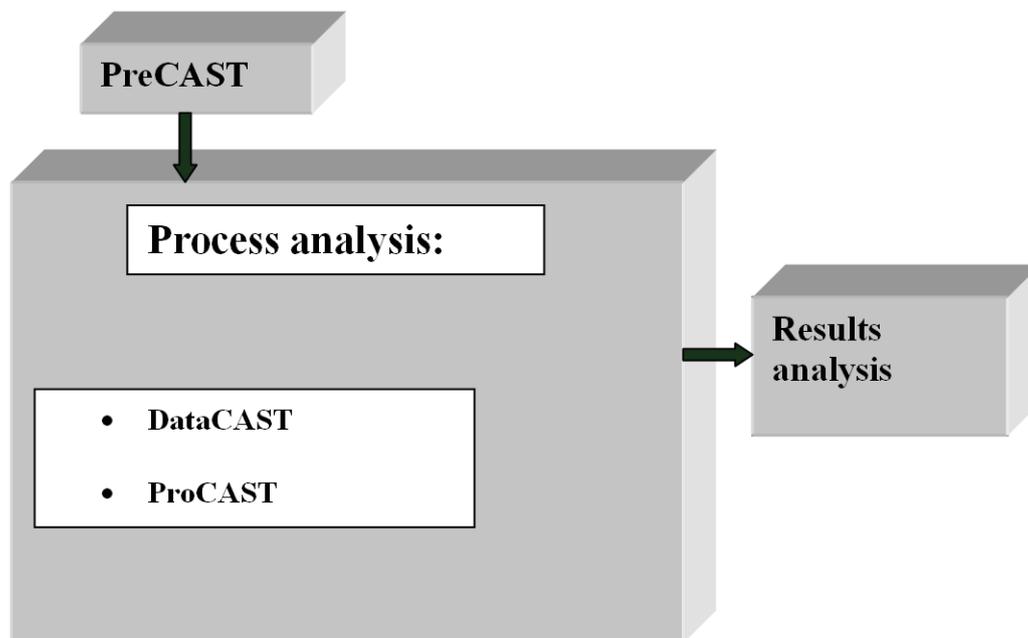


Рис. 5. Блок-схема работы модуля ProCast

## 1.5. ViewCAST

ViewCAST – постпроцессор, позволяющий пользователям визуализировать результаты расчета в виде отчета ProCAST (рис. 6).

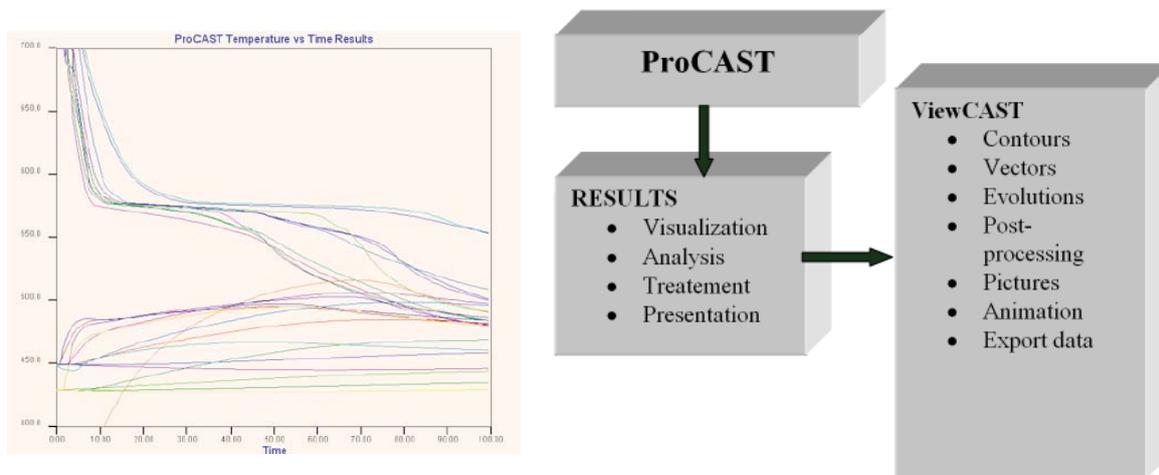


Рис. 6. Блок-схема работы ViewCast

## 2. ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ

Для того чтобы назначить граничные условия, т.е. условия, действующие на внешней границе модели, пользователь должен совершить следующие действия (шаги):

- 1 Перейти в пункт меню *Boundary Conditions*.
- 2 Используя кнопку Add->, выбрать требуемые для его модели граничные условия.
- 3 Используя инструменты выбора/отмены выбора, выбрать область модели, на которую будут накладываться соответствующие граничные условия.
- 4 Не забыть сохранить выбор области модели.
- 5 Будет отображена площадь выбранной области. Это может быть полезно для определения области заполнения и для расчета скорости заполнения.
- 6 Выбрать необходимое *Граничное условие* из имеющихся в базе данных.
- 7 База данных граничных условий (ГУ) может использоваться, проверяться и пополняться.

Рассмотрим каждый шаг подробнее.

Переходим в меню *Граничные условия* (шаг 1). Нажимаем (2) *Add->* для того, чтобы увидеть необходимые Вам граничные условия (шаг 2). Выберите в списке граничных условий требуемые ГУ. Выбранные ГУ отобразятся в правой верхней таблице (рис. 7).

Используйте инструмент «выбор/отмена выбора» для выбора области модели, на которую будут накладываться соответствующие ГУ (шаг 3). Не забудьте сохранить (шаг 4) Ваш выбор. Обратите внимание, что после нажатия кнопки *Store* (шаг 4) отобразится площадь выбранной области (шаг 5). Это может быть полезно для определения области заполнения и для расчета надлежащей скорости заполнения. При задании ГУ “скорость” в Вашем распоряжении появляется специальный инструмент – калькулятор скорости, определяющий ее на основе типа заполнения и площади входного канала. Затем устанавливается необходимое ГУ из базы данных (шаг 7).

После этого вхождение базы данных отображается в правой верхней таблице (DB Entry) интерфейса препроцессора (рис. 8).

Add ->	Delete	Assign
Store	Quit	Link
BC-Type	Area (sq.mm)	DB Entry
Heat	1.212e+005	* 1 *
Temperature	37.12	* 3 *
Velocity	37.12	* 8 *

Рис. 7. Окно ProCast «Отображение граничных условий»

Add ->	Delete	Assign
Store	Quit	Link
BC-Type	Area (sq.mm)	DB Entry
Heat	1.212e+005	* 1 *
Temperature	37.12	* 3 *
Velocity	37.12	* 8 *

Рис. 8. Окно ProCast «Таблица выбранных параметров»

База данных граничных условий (шаг 7) может быть проверена и расширена. Кнопка *Read* позволяет пользователю проверить содержа-

ние граничных условий. Кнопка *Add->* позволяет добавить дополнительные граничные условия из списка. Также можно копировать и модифицировать существующие граничные условия. Кнопка *Del* позволяет удалить выбранное входение. Граничные условия также можно отсортировать по типу (рис. 9).

Read					Add ->					Copy					Del					Sort				
					BC-Type					Keyword					User									
▲					1	Heat	Air_cooling					calcom												
					2	Heat	Water_cooling					calcom												
					3	Temperature	hpdc-T=700					calcom												
					4	Temperature	hpdc-T=15					calcom												
					5	Temperature	gravity-T=1360					calcom												
					6	Velocity	hpdc-v(0,0,-1)					calcom												
					7	Velocity	gravity-v(0,0,-1)					calcom												
					8	Velocity	gravity-v(0,1,0)					calcom												
▼																								

*Рис. 9. Окно ProCast «Редактирование параметров граничных условий»*

Следует иметь в виду, что ГУ могут быть постоянными либо зависящими от времени и/или температуры. В этом случае надо быть внимательным, так как постоянная умножается на коэффициент из одной таблицы (если она задана) и на коэффициенты из обеих таблиц при их наличии.

На рис. 10 представлены иконки выбора/отмены выбора.

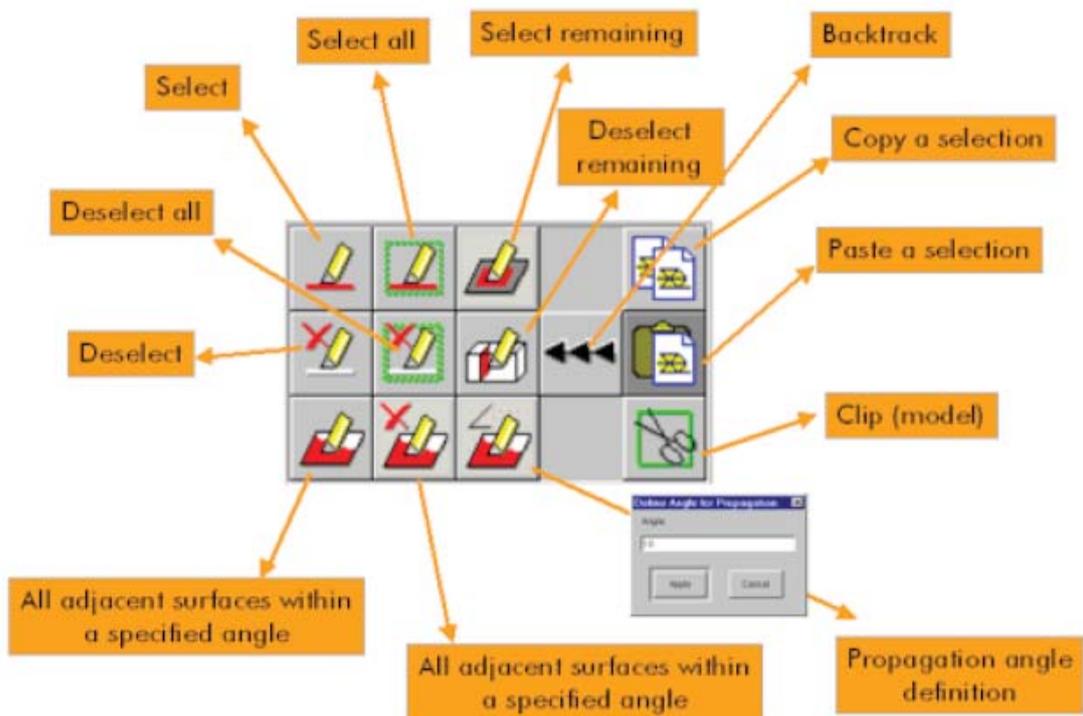


Рис. 10. Блок-схема описания иконок выбора граничных условий

Тепловой поток через контактную поверхность (interface) определяется в ProCAST следующим образом (рис. 11).

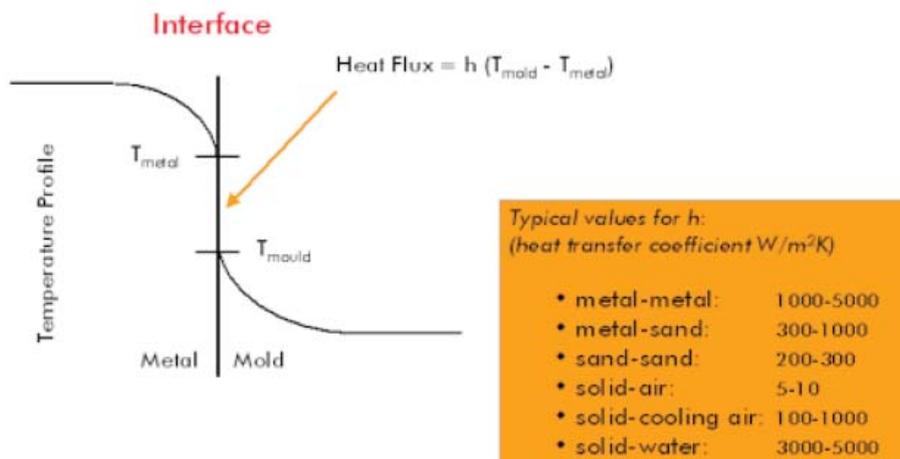


Рис. 11. График определения теплового потока

### 3. СИММЕТРИЯ

Для оптимизации процессорного времени, требуемого для выполнения расчета, необходимо по возможности использовать круговую, или зеркальную, симметрию моделируемой детали (рис. 12).

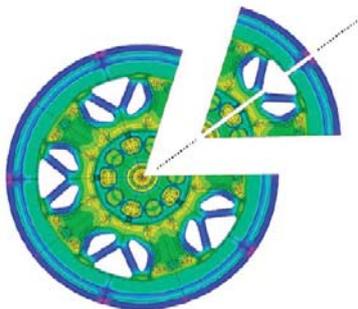


Рис. 12. Круговая симметрия

Для задания свойств симметрии (оси вращения или плоскости симметрии) зайдите в меню *Geometry* и выберите опцию *Symmetry* (рис. 13).

Ось симметрии задается с помощью двух точек, в то время как для задания плоскости симметрии используются 3 точки. Для полу-

чения координат этих точек активизируйте кнопку «Get Co-ord» и кликните на узлах оси симметрии или узлах плоскости симметрии. Курсор должен быть в соответствующих полях ввода X1, X2 или X3.

Не забудьте нажать *Apply* после того, как ось или плоскость будут определены.

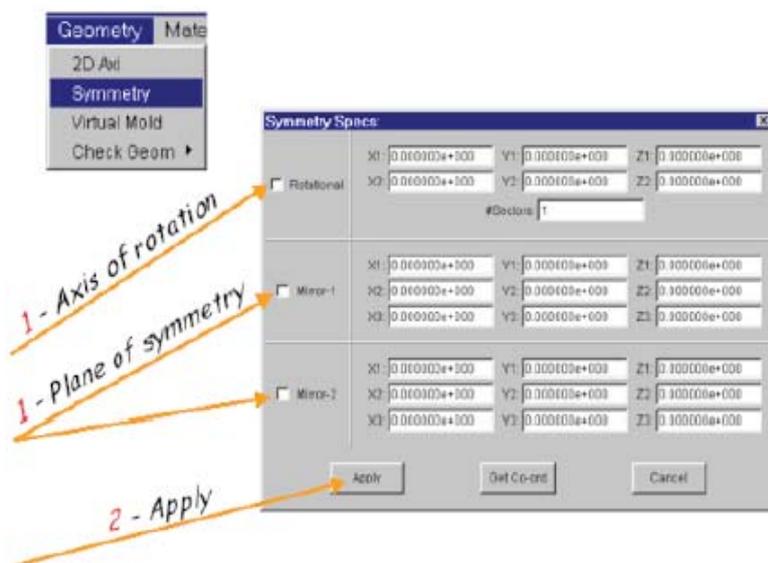


Рис. 13. Окно ProCast «Меню Геометрия»

### 4. СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА

Цель настоящего издания – помочь пользователям в задании свойств необходимых для описания различных типов материалов:

- заливаемого материала для ньютоновского течения;
- экзотермического материала;
- фильтрующего материала;
- материала формы;
- заливаемого материала для неньютоновского течения (твердое жидкое заполнение);
- песчаной формы при литье по выжигаемым моделям.

Задание свойств материала для многокомпонентных сплавов – в большинстве случаев очень непростая задача, и для ее решения следует воспользоваться термодинамической базой данных, доступной в ProCAST. В ней можно найти фазовые диаграммы, линии энтальпии, температуры ликвидуса (перехода в жидкое состояние) и солидуса (перехода в твердое состояние) для литейных сплавов в зависимости от их состава.

Большинство свойств материалов является функцией температуры. Данные могут быть введены как константы либо в виде таблиц.

В случае табличного представления данных для промежуточных точек применяются линейная интерполяция и горизонтальная экстраполяция (кроме энтальпии) (рис. 14).

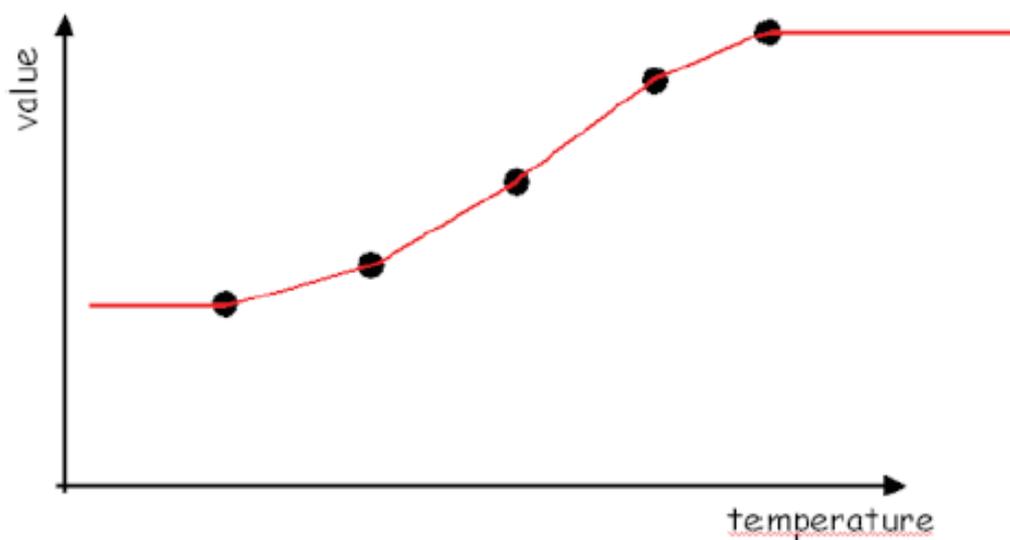


Рис. 14. График табличных данных

#### 4.1. Заливаемый материал

Для выполнения теплового (с учетом фазовых превращений) (рис. 15) и гидравлического анализа (рис. 16) для заливаемого материала необходим следующий состав свойств материалов (два варианта):

##### А.

Тепловые (Thermal) свойства:

- теплопроводность (Thermal conductivity) [Вт/(м · К)];
- плотность (Density) [кг/м<sup>3</sup>];
- удельная теплоемкость (Specific heat) [Дж/(кг · К)];

- скрытая теплота фазового перехода (Latent heat) [Дж/кг];
- спектр выделения скрытой теплоты фазового перехода (Fraction of solid) [-];
- температуры солидуса и ликвидуса (Solidus and Liquidus temperature) [°C].

Гидравлическое (Fluid) – вязкость (Viscosity) [сП (сантиПуаз)]

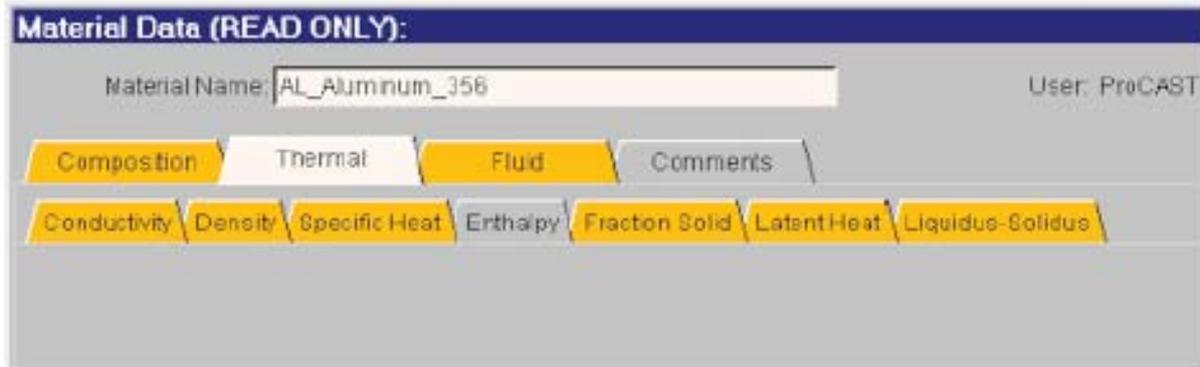


Рис. 15. Окно ProCast «Состав тепловых свойств А»

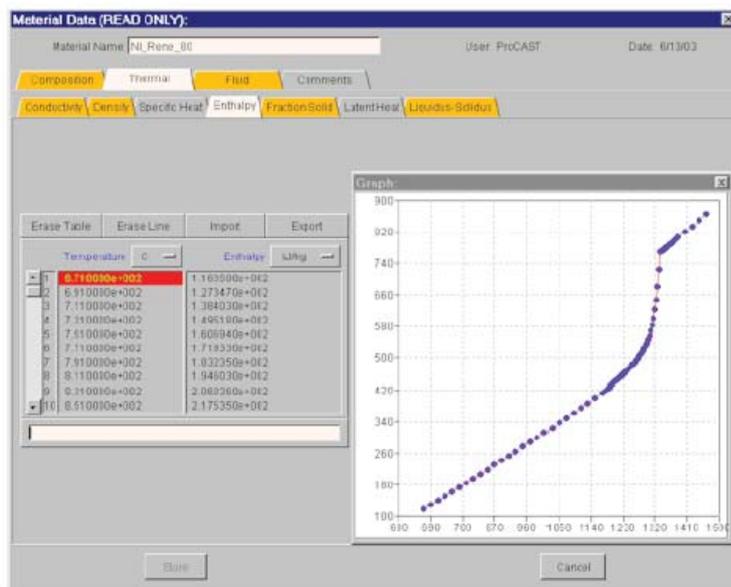


Рис. 16. Окно ProCast «Состав тепловых свойств Б»

## Б.

Тепловые (Thermal) свойства:

- теплопроводность (Thermal conductivity) [Вт/(м • К)];
- плотность (Density) [кг/м<sup>3</sup>];
- кривая энтальпии (Enthalpy curve) [Дж/кг];
- спектр выделения скрытой теплоты фазового перехода (Fraction of solid) [-];
- температуры солидуса и ликвидуса (Solidus and Liquidus temperature) [°C].

Гидравлическое (Fluid) вязкость (Viscosity) [сП (сантиПуаз)].

Имейте в виду, что для того чтобы предсказать **пористость**, необходимо принимать плотность материала зависимой от температуры, как показано ниже. Изменение плотности между температурами солидуса и ликвидуса ведет к образованию усадки при затвердевании (рис. 17).

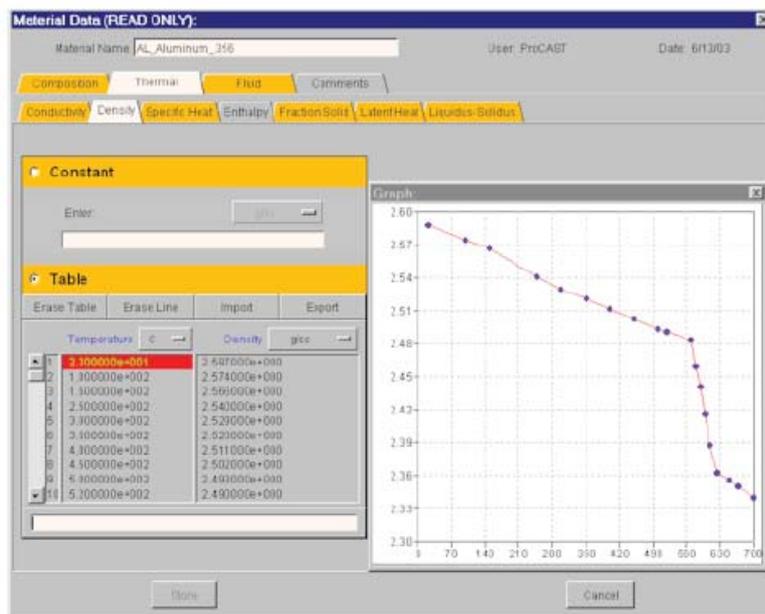
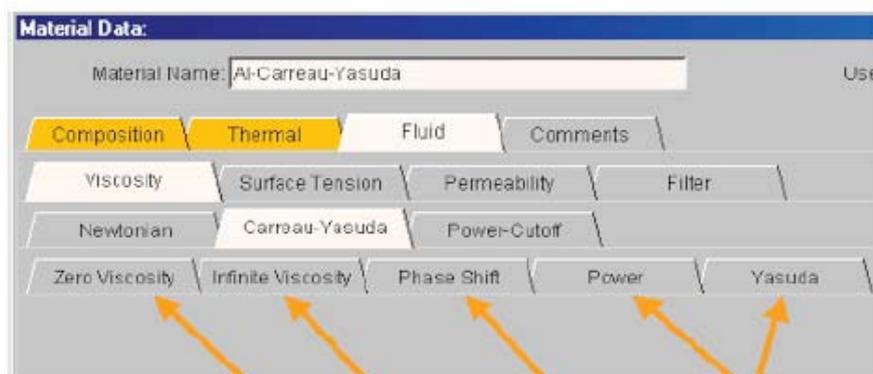


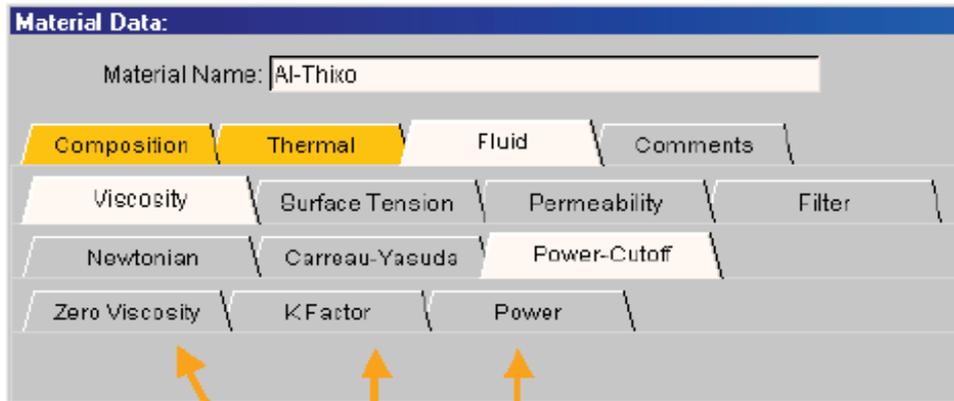
Рис. 17. Окно ProCast «Изменение плотности между температурами солидуса и ликвидуса»

В случае зависимости свойств потока жидкости от скорости сдвига (неньютоновская жидкость) пользователь может описать вязкость как функцию скорости сдвига и температуры с помощью зависимости Carreau-Yasuda (1) (рис. 18) либо по зависимости «отсечки степени» (степенному закону) (2) (рис. 19).



$$\mu = \mu_{\infty} + (\mu_0 - \mu_{\infty}) \left[ 1 + (\lambda \cdot \dot{\gamma})^a \right]^{\frac{n-1}{a}} \quad (1)$$

Рис. 18. Окно ProCast «Описание вязкости с помощью функции скорости сдвига и температуры»



$$\mu = \mu_0 \cdot (K \cdot \dot{\gamma})^n \quad \text{if } \dot{\gamma} \geq \dot{\gamma}_0 \quad (2)$$

$$\mu = \mu_0 \cdot (K \cdot \dot{\gamma}_0)^n \quad \text{if } \dot{\gamma} < \dot{\gamma}_0$$

Рис. 19. Окно ProCast «Описание вязкости с помощью степенного закона»

#### 4.2. Экзотермический материал

Для экзотермических материалов задаются следующие тепловые (Thermal) свойства (рис. 20):

- теплопроводность (Thermal conductivity) [Вт/(м · К)];
- плотность (Density) [кг/м³];
- удельная теплоемкость (Specific heat) [Дж/(кг · К)].

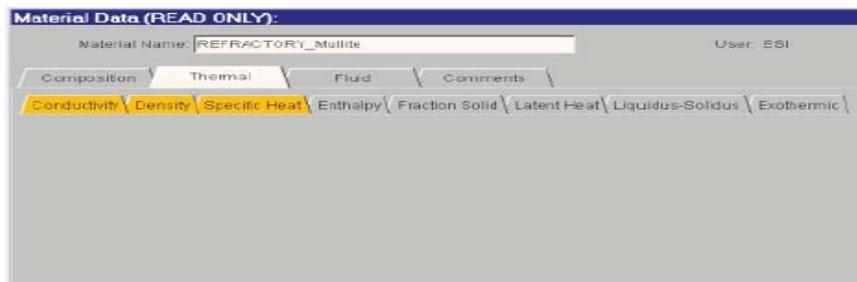


Рис. 20. Окно ProCast «Закладка Тепловые свойства»

Для учета энергии, высвобождаемой при экзотермической реак-

ции, в интерфейсе задания свойств материалов предусмотрена соответствующая закладка.

Перейдите на закладку Exothermic и введите следующие данные (рис. 21):

- доля выделяемого при сгорании тепла как функция времени;
- температура воспламенения;
- экзотермическая энергия.

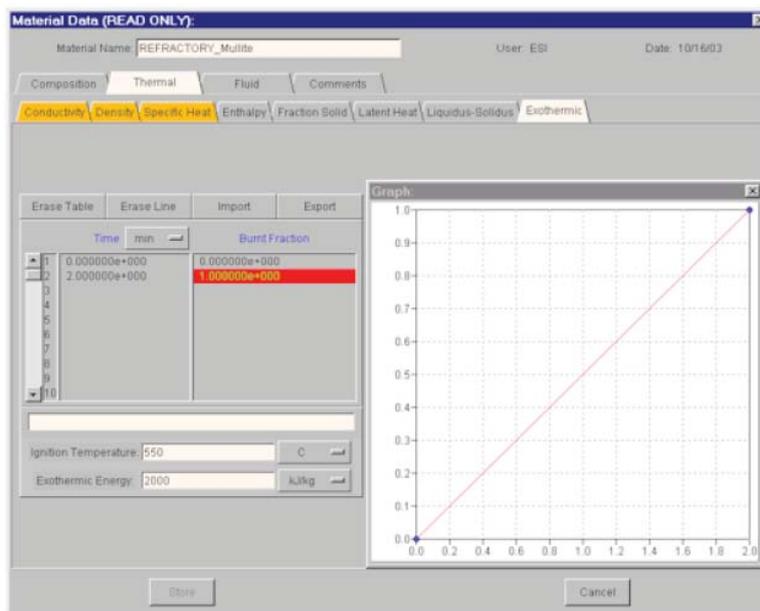


Рис. 21. Окно ProCast «Закладка экзотермика»

### 4.3. Фильтрующий материал

Для проведения теплового и гидравлического анализа фильтрующих материалов (рис. 22) требуется задание следующих свойств.

Тепловые (Thermal):

- теплопроводность (Thermal conductivity) [Вт/(м · К)];
- плотность (Density) [кг/м<sup>3</sup>];
- удельная теплоемкость (Specific heat) [Дж/(кг · К)].

Гидравлические (Fluid->Filter):

- отношение площади пор фильтрующей перегородки к общей площади фильтрующего элемента (void fraction) [-];
- характерная площадь (Specific Area) [1/см];
- потеря давления (Pressure drop) опционально.

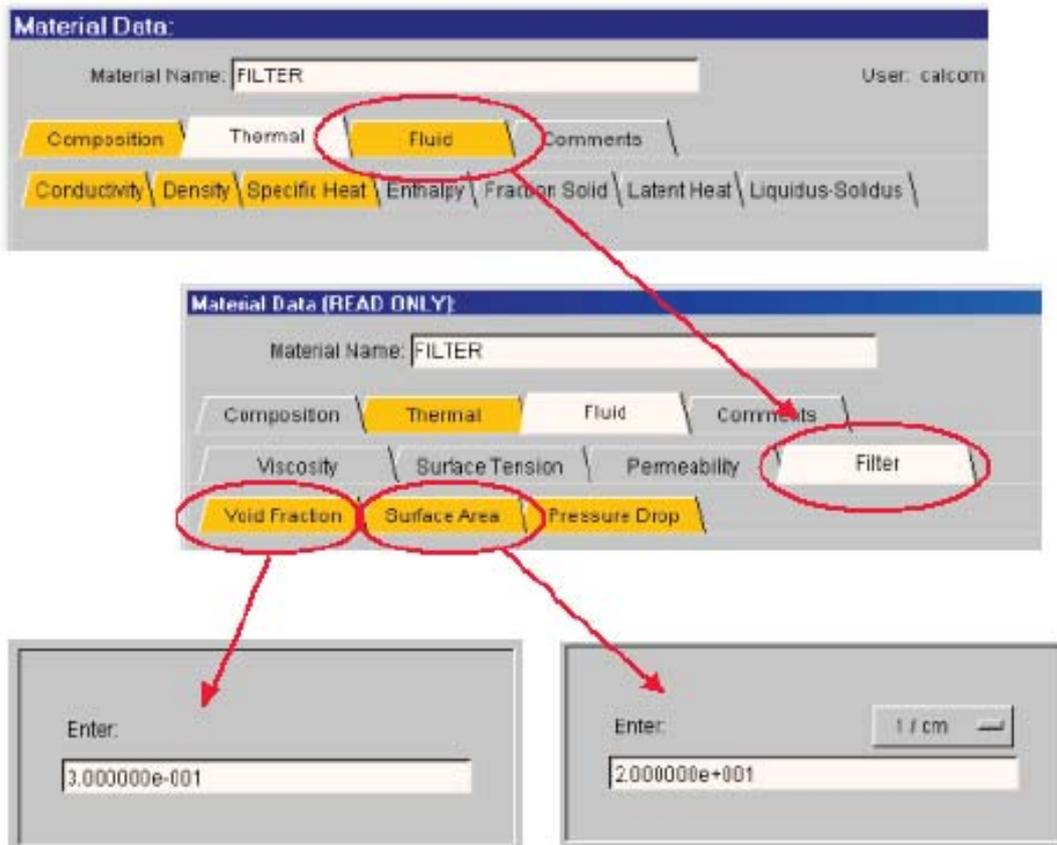


Рис. 22. Окно ProCast «Задание фильтрующих материалов»

#### 4.4. Материал формы

Для проведения теплового анализа для материала формы (рис. 23) требуется задание следующих свойств.

Тепловых (Thermal):

- теплопроводность (Thermal conductivity) [Вт/(м · К)];
- плотность (Density) [кг/м<sup>3</sup>];
- удельная теплоемкость (Specific heat) [Дж/(кг · К)].

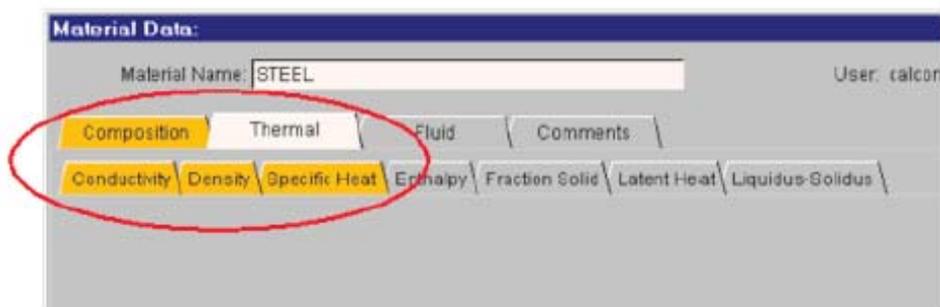


Рис. 23. Окно ProCast «Закладка материала формы»

В случае применения песчаной формы при литье по выжигаемым моделям (Lost foam process) проницаемость (permeability) песка должна быть

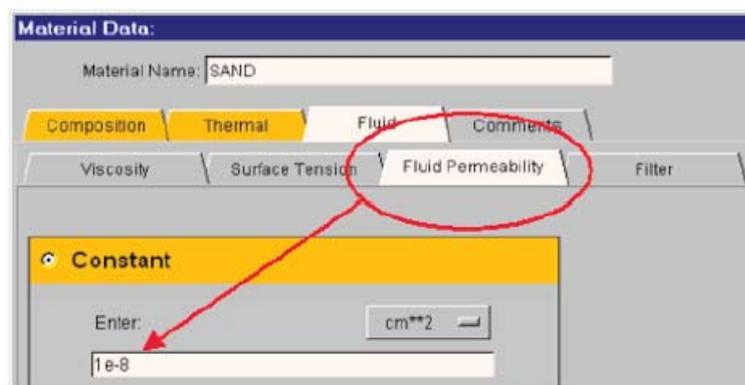


Рис. 24. Окно ProCast «Закладка проницаемости материала формы»

определена на закладке Fluid (рис. 24). Таким образом, в этом случае необходимо задать следующие свойства материала:

Тепловые (Thermal):

- теплопроводность (Thermal conductivity) [Вт/(м · К)];
- плотность (Density) [кг/м<sup>3</sup>];
- удельная теплоем-

кость (Specific heat) [Дж/(кг · К)].

Гидравлическое (Fluid->Fluid permeability) свойство – проницаемость (permeability) [см<sup>2</sup>].

#### 4.5. Термодинамическая база данных (Thermodynamic databases)

Трудно получить корректные данные, нужно воспользоваться преимуществом наличия термодинамической базы данных, доступной в ProCast.

В случае бинарных сплавов не представляет большого труда определить график процесса кристаллизации из соответствующей фазовой диаграммы с помощью зависимостей Lever или Scheil.

Проблема в том, что используемые в промышленности сплавы чаще всего бывают многокомпонентными.

Сравним свойства, характеризующие процесс кристаллизации двух незначительно отличающихся сплавов, для того чтобы проиллюстрировать важность наличия корректных данных (рис. 25).

Термодинамическая база данных позволяет рассчитать содержание твердой фазы, кривые энтальпии, температуры солидуса и ликвидуса на основе состава сплава (рис. 26).

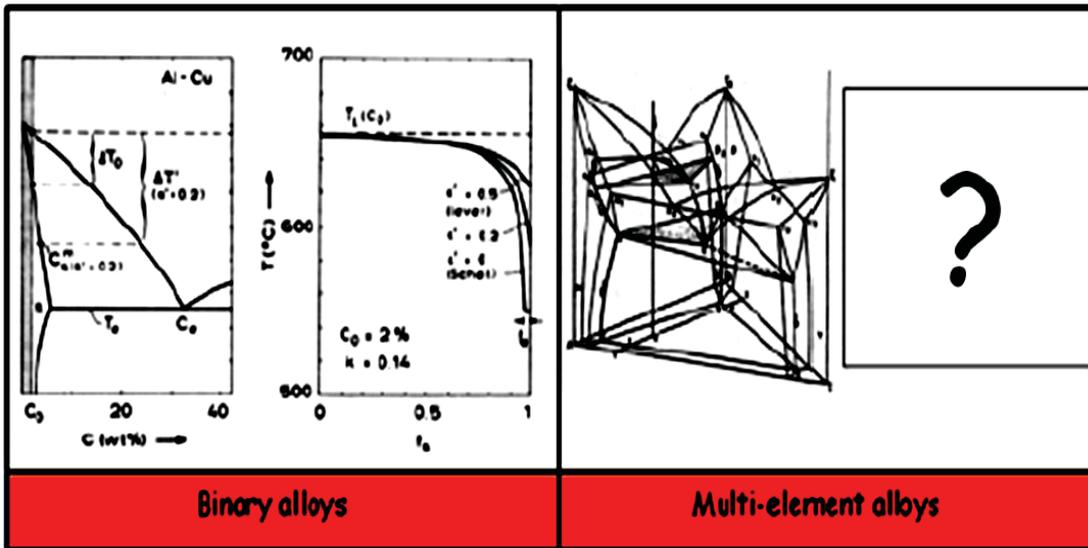


Рис. 25. Фазовая диаграмма

**Alloy composition**

Base element : Al  
 Si 7 %  
 Mg 0.3 %



**Fraction of solid :  $f_s(T)$**

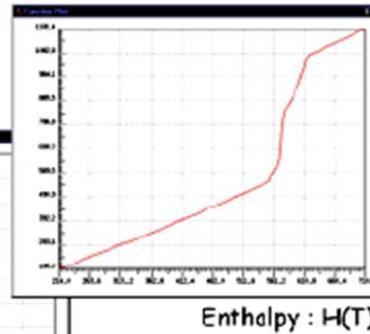
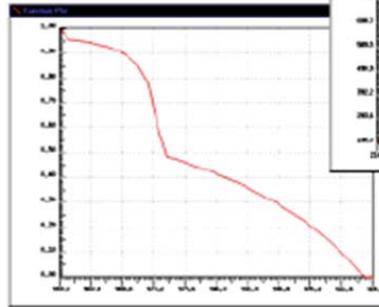


Рис. 26. Графики из базы данных

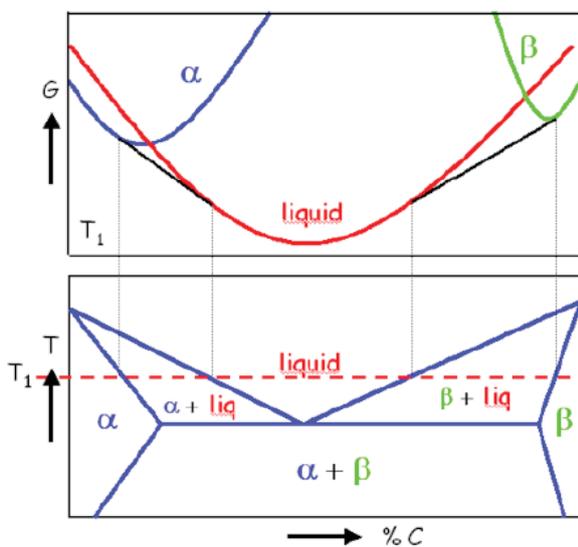


Рис. 27. Диаграмма стабильной фазы

Минимум кривой зависимости свободной энергии Гиббса (или линейной комбинации двух кривых) от температуры  $T$  позволяет получить диаграмму стабильной фазы (рис. 27).

Для того чтобы использовать термодинамическую базу данных: 1) кликните на кнопке COMPOSITION; 2) введите базовый элемент сплава; 3) заполните в таблице состав сплава в весовых долях (или процентах) (рис. 28).

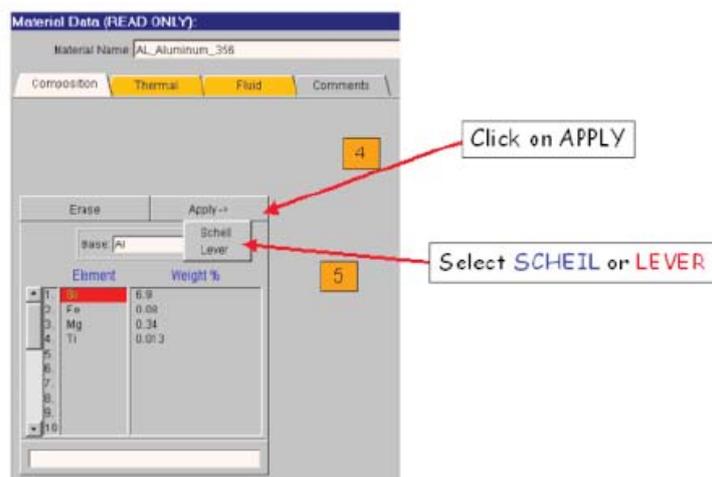
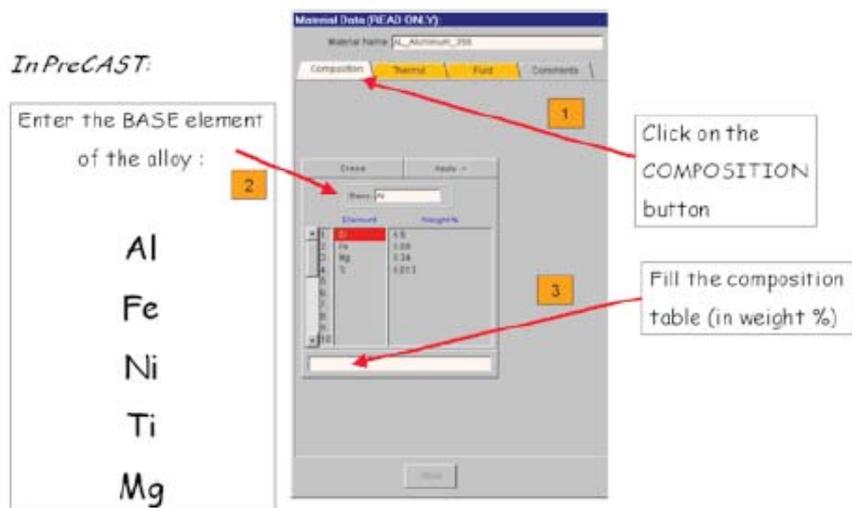


Рис. 28. Закладка “Использование базы данных”:  
*Lever*: при быстром распространении фронта кристаллизации (Fe-C/ мало легированные стали и чугун); *Scheil*: при медленном распространении фронта кристаллизации (большинство сплавов).

Доступные базовые элементы сплавов: Al, Fe, Ni, Ti, Mg. Доступные элементы сплавов описаны в разделе «Базы данных/термодинамические базы данных».

## 5. ЦИКЛИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Моделирование представляет собой циклический процесс и основано на сценарном подходе. Для формализации этапов моделирования необходимо решить следующие задачи:

1. Произвести тепловой анализ циклического процесса.
2. Определить распределение температур формы после выхода на стационарный режим.
3. Произвести гидравлический и прочностной анализ.

Знания об исследуемой проблеме расширяются и уточняются, а исходная модель постоянно совершенствуется.

Обычно последовательность операций при циклическом процессе выглядит следующим образом (рис. 29).

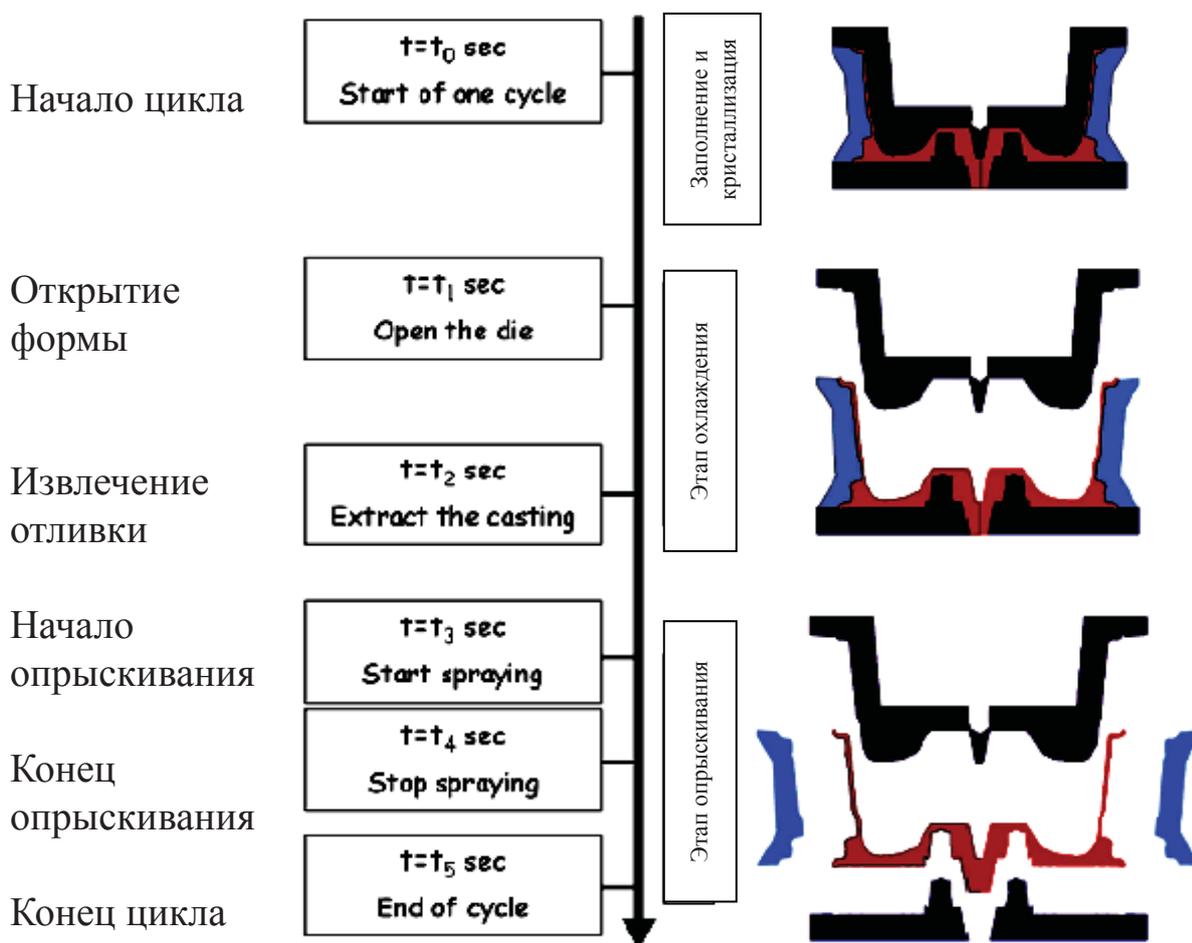


Рис. 29. Операции при циклическом процессе

В приложении PreCAST возможны 2 метода моделирования ци-

клического процесса заливки: а) стандартный (рис. 30) и б) метод комбинированной формы (Die Combo) (рис. 32). Выбор осуществляется в меню при задании нового контактного условия. Предлагается задать либо стандартный метод (Standard), либо метод комбинированной формы (Die Combo).

	Read	Add ->	Copy	Del
		Standard	word	User
		Die Combo		
1		Standard	Fe-Sand	calc om
2		Standard	h=100	calc om
3		Standard	h=500	calc om
4		Standard	h=1000	calc om
5		Standard	h=2000	calc om
6		Standard	h=5000	calc om
7		Standard		calc om

Рис. 30. Закладка стандартного метода процесса заливки

Первый метод заключается в моделировании различных операций цикла с помощью зависимых от времени коэффициентов контактной теплопередачи и тепловых граничных условий (рис. 31).

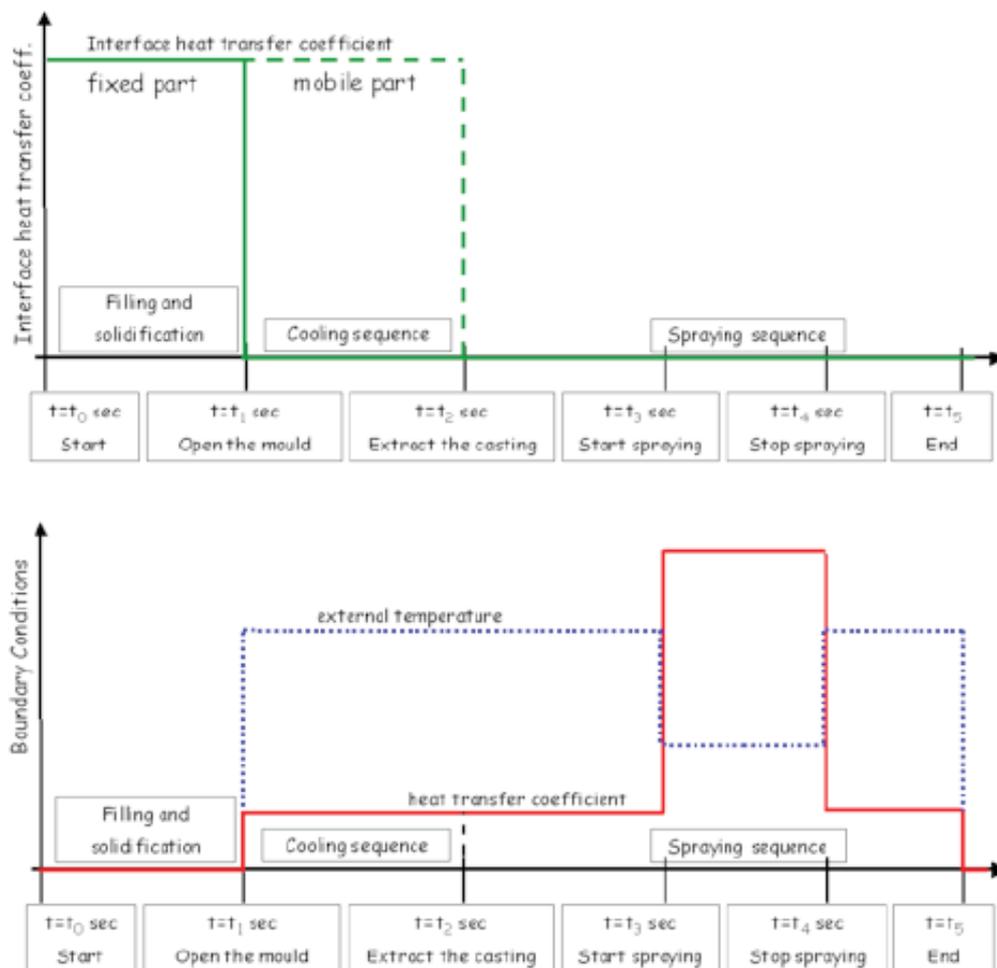


Рис. 31. Графики зависимости коэффициентов контактной теплопередачи и тепловых граничных условий

Этот классический метод является наиболее гибким и позволяет смоделировать любую ситуацию. Однако при оптимизации процесса замена всех табулированных коэффициентов контактной теплопередачи и тепловых граничных условий при изменении времени цикла является достаточно нудной операцией.

Метод комбинированной формы (Die Combo) облегчает моделирование циклического процесса с помощью соответствующего интерфейса (рис. 33).

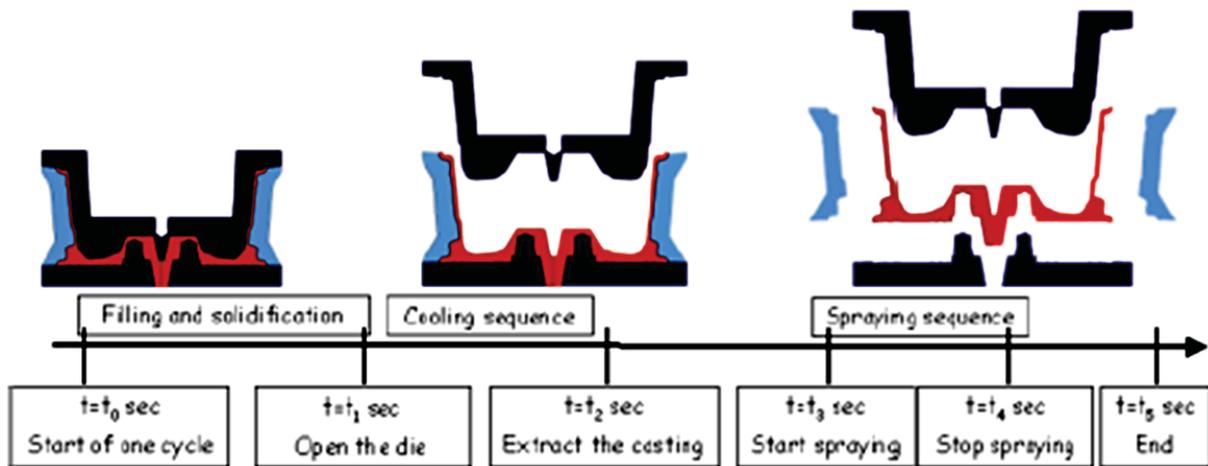


Рис. 32. Метод комбинированной формы

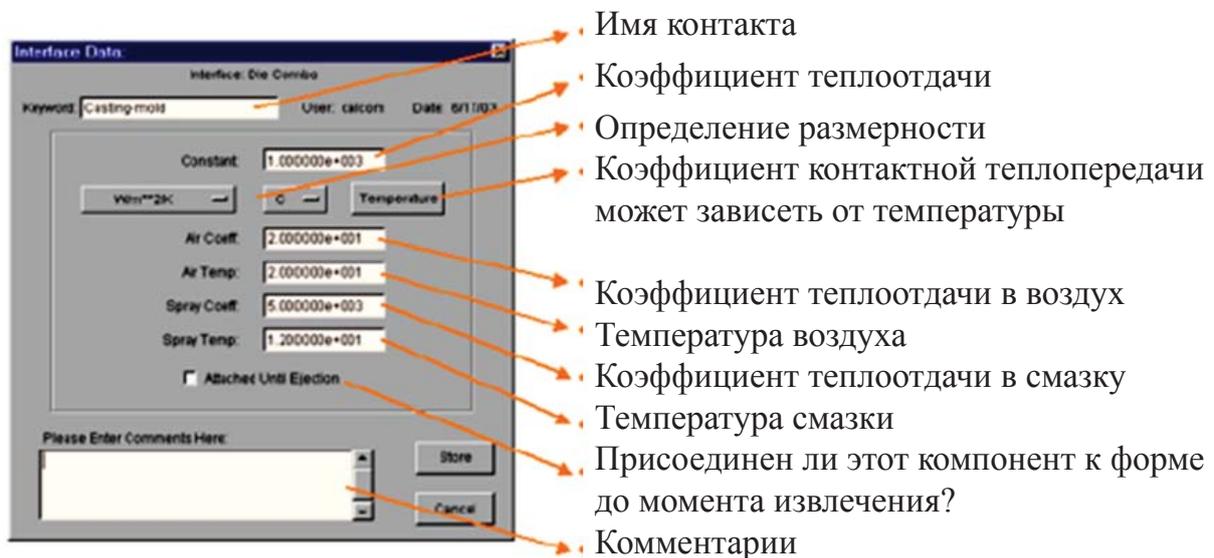


Рис. 33. Комментарии к закладке времени циклов

Различное время цикла вводится непосредственно в меню Run Parameters/Cycles/.

Коэффициенты теплоотдачи и тепловые ГУ вводятся в интерфейсе Die Combo (рис. 34).

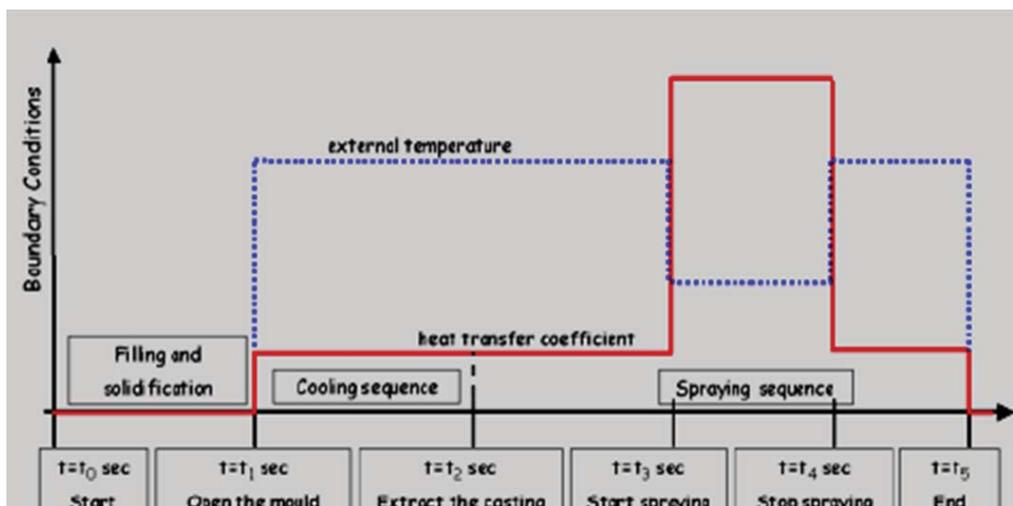


Рис. 34. График зависимости коэффициентов теплоотдачи и тепловых граничных условий

После того как расчет (только тепловой) цикла однажды сделан, было бы полезно извлечь распределение температур формы и использовать его в качестве начальных условий для анализа заполнения либо анализа напряжений.

Скопируйте и переименуйте \*.dat и \*.p.dat файлы. Запустите Pre-CAST и измените установки для моделирования заполнения (Fluid Flow) либо для анализа напряжений.

Для извлечения распределения температур перейдите в опцию Extract меню Initial conditions PreCAST.

Используя кнопку Browse, найдите расчет цикла (только тепловой) и установите номер шага, на котором температурное распределение будет извлечено.

## 6. ВИРТУАЛЬНАЯ ФОРМА

Режим виртуальной формы может использоваться для экономии процессорного времени. Тепловое влияние формы при этом учитывается (распределение тепла, локальные источники тепла, тепловое насыщение), но поскольку конечноэлементная сетка (КЭ) для формы не строится, пользователь не сможет увидеть распределение температур в форме.

Обратите внимание на то, что в случае применения виртуальной формы на поверхности отливки должна быть задана нулевая скорость в качестве ГУ.

Режим виртуальной формы указывается в меню Geometry.

Введите размеры виртуальной формы (рис. 35). Убедитесь, что га-

бариты виртуальной формы включают полностью тело отливки. Поскольку условия на внешней границе виртуальной формы принимаются адиабатическими (отсутствие теплообмена), размеры виртуальной формы могут быть установлены достаточно большими. Используя опцию Check Geom, Вы можете получить габариты отливки. Это поможет Вам при задании размеров виртуальной формы.

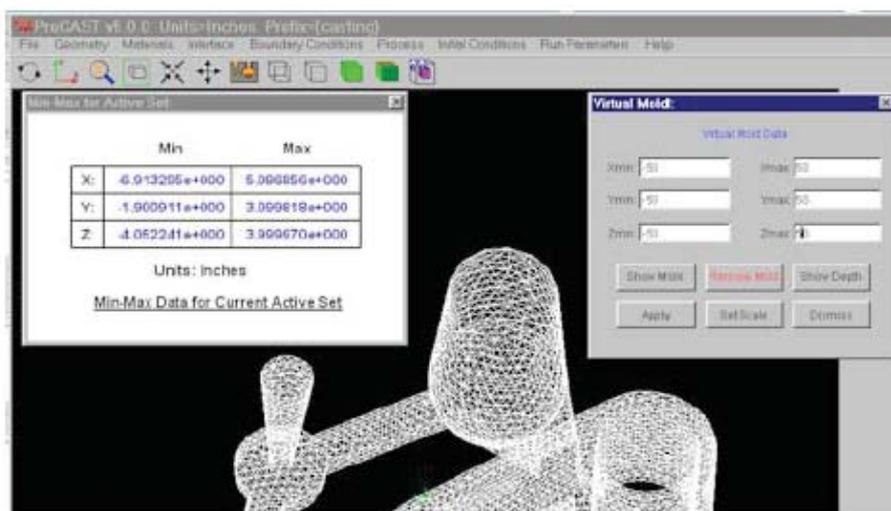


Рис. 35. Окно ProCast “Введение размеров виртуальной формы”

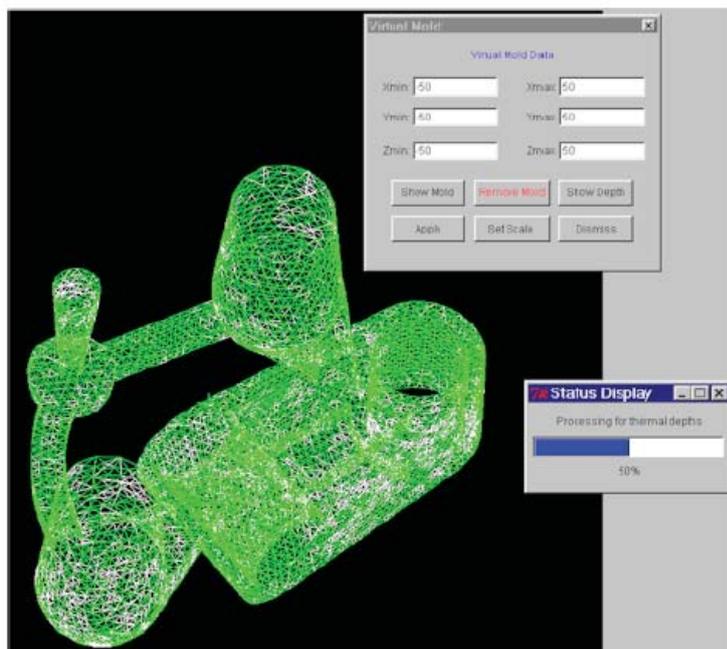


Рис. 36. Окно ProCast «Процесс генерации виртуальной формы»

даны для виртуальной формы.

Контактный коэффициент теплоотдачи должен быть задан для границы отливка-форма (рис. 38).

Нажмите Apply для генерации виртуальной формы (рис. 36).

Вычисленная термическая глубина (thermal depth) может быть отображена с помощью кнопки Show Depth (рис. 37) и масштабирована с помощью кнопки Set Scale. Кроме того, виртуальную модель можно удалить.

В меню Material теперь отображается материал формы, и свойства материала могут быть за-

Для отливки и для формы должны быть также заданы начальные температуры (рис. 39).

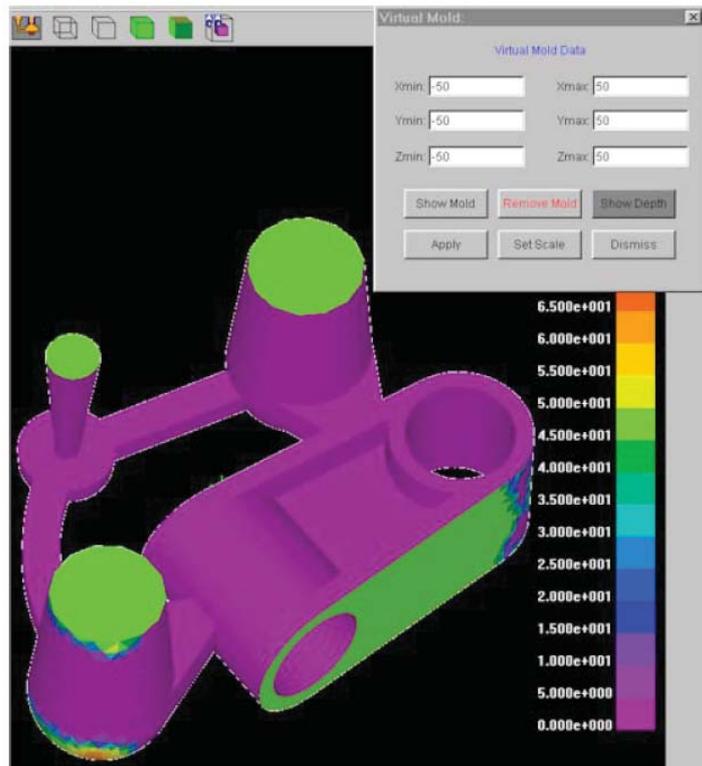


Рис. 37. Окно ProCast «Масштабирование виртуальной формы»

View	Apply	Quit
Add	Delete	Assign
Material Pair	Type	DB Entry
1 and 2	Virtual	* 2 *

Рис. 38. Закладка с контактным коэффициентом

Dismiss	
Materials	Temperature C
# 1 FE_Ductile_Iron_1	1250.00
# 2 SAND_Silica	20.00

Рис. 39. Закладка с начальной температурой

## 7. ШАБЛОНЫ ПРОЦЕССОВ

Цель данных методических указаний – помочь пользователям познакомиться с настройками и параметрами запуска. Комбинация модулей Thermal и Fluid flow позволяет студентам смоделировать практически любой процесс: литье в землю, литье под высоким давлением, литье под низким давлением, литье по выплавляемым моделям и др. Но каждый процесс требует некоторых специфических настроек.

По существу, пользователь должен задать в PreCAST:

- **ГЕОМЕТРИЮ:** объемную сетку;
- **МАТЕРИАЛЫ:** заливаемый материал и материал формы;
- **КОНТАКТНЫЕ УСЛОВИЯ:** коэффициент теплоотдачи на границе между отливкой и формой;



Рис. 40. Окно ProCast «Шаблон для интересующего процесса»

т.е. параметров интересующего процесса, которые могут быть определены только один раз в самом начале (рис. 40).

це между отливкой и формой;

- **ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ:** тепловые ГУ и ГУ, характеризующие процесс заливки;

- **ПРОЦЕСС:** вектор гравитации и движущиеся твердые тела;

- **НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ:** начальная температура формы, полость формы в начальный момент должна быть пуста;

- **ПАРАМЕТРЫ ЗАПУСКА:** общие, тепловые, циклические радиационные, характеризующие течение и турбулентность.

Обратите внимание, что можно использовать predetermined шаблоны для параметров запуска,

## 8. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ «ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ»

### Порядок выполнения работы

1. Получить исходный чертеж детали и спроектировать 3D-модель в системе КОМПАС 3D-V10.

2. Провести анализ материала и конструкции детали на литейную технологию и выбрать способ изготовления отливки.

3. С помощью автоматического генератора тетраэдральной сетки MeshCAST создать аналитическую 3D-модель заданной детали.

4. Подготовить данные для расчета (назначить свойства материалов для различных компонентов модели, задать контактные, граничные и начальные условия).

5. Произвести расчет.

6. Интерпретировать его результаты.

#### *Содержание отчета*

1. Алгоритм проектирования и моделирования объекта литейного производства.

2. Сравнительный анализ модели с реальной литейной технологией. Оптимизация процесса.

3. Выводы.

4. Электронная копия отчета с фрагментами визуализации «узких мест» численного моделирования.

## Заключение

Преимущества систем моделирования литейных процессов, использующих метод конечных элементов: во-первых, удобство интерфейса обеспечивает лучшее представление/визуализацию моделей и свободных поверхностей, во-вторых, позволяет максимально автоматизировать весь жизненный цикл изделия, начиная от процесса разработки и заканчивая процессом производства, из чего следуют высокое качество изделия, низкая стоимость и экономия времени на изготовление. Моделирование предполагает некоторые навыки и знания, поэтому **более полную версию методических указаний можно посмотреть в электронном виде.**

В электронных методических указаниях подробно освещены шаблоны следующих процессов:

- Термоциклирование литья под высоким давлением.
- Процесс заливки при литье под высоким давлением.
- Литье под низким давлением.
- Заливка в песчано-глинистую форму.
- Литье по выплавляемым моделям.
- Фильтр.
- Анализ напряжений.
- Модели с несовпадающими узлами сеток.

Моделирование по шаблонам различных объектов проектирования – своего рода прототип инженерного анализа технологических процессов литья. Выполнив задание к самостоятельной работе, студент в достаточной степени освоит азы циклического моделирования.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что дает предприятиям использование компьютерного моделирования литейных процессов?
2. Какие программные продукты для литейного производства есть сегодня на российском рынке?
3. Чем различаются два типа систем: конечноэлементного и конечноразностного анализа?
4. Какую выбрать программу?
5. Какие специалисты на предприятии участвуют в процессе выбора программы?
6. Что еще важно учитывать при выборе пакета программ?
7. Как быстро окупаются программы моделирования?
8. Сколько литейных производств в России уже пользуются системами компьютерного моделирования?
9. Какими темпами идет «компьютеризация» литейного производства в России?
10. Какие российские вузы обучают студентов пользоваться программами моделирования?
11. С помощью какого метода решаются задачи моделирования в Pro-CAST?
12. Как вы оцениваете потенциал системы?
13. Каковы особенности и основные возможности системы Pro-CAST?
14. Какие расчетные модели (решатели) определяют вычислительные ресурсы Pro-CAST?
15. Какой генератор сетки используется в создании конечноэлементной модели?
16. Моделирование течения расплава. С помощью какого уравнения можно учитывать особенности различного вида литья?
17. Тепловой расчет. Можно ли сократить число вычислений конечных элементов в расчете? С помощью каких сплавов можно моделировать тепловые процессы в данном пакете?
18. В каких областях геометрической модели можно производить расчет напряжений и деформаций?
19. Расчет усадки.
20. Прогнозирования «горячего» растрескивания.

21. Прогнозирование пористости.
22. База данных материалов.
23. Расчет теплоизлучения.
24. Расчет микроструктуры.
25. Обратное моделирование.
26. Дополнения к Pro-CAST? Pro-CAST.
27. Дополнительные опции решателя.

## Библиографический список

1. *Гвоздева, В. А.* Основы построения автоматизированных информационных систем : учебник / В. А. Гвоздева, И. Ю. Лаврентьева. – М. : ИНФРА-М, 2007. – 320 с. – ISBN 978-5-16-003007-4.

2. *Самсонов, В. В.* Автоматизация конструкторских работ в среде Компас-3D : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / В. В. Самсонов, Г. А. Красильникова. – М. : Академия, 2008. – 224 с. – ISBN 978-5-7695-2781-4.

3. *Ковшов, А. Н.* Информационная поддержка жизненного цикла изделий в машиностроении: принципы, системы и технологии CALS/ИПИ : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / А. Н. Ковшов [и др.]. – М. : Академия, 2007. – 304 с. – ISBN 978-5-7695-3003-6.

4. *Кондаков, А. И.* САПР технологических процессов : учеб. для студентов высш. учеб. заведений / А. И. Кондаков, – 2-е изд., стер. – М. : Академия, 2008. – 272 с. – ISBN 978-5-7695-5132-1.

5. *Цымбал, В. П.* Математическое моделирование сложных систем в металлургии : учеб. для вузов / В. П. Цымбал. – Кемерово; М. : Рос. ун-ты; Кузбассвузиздат – АСТШ, 2006. – 431 с. – ISBN 5-202-00925-9.

6. *Арефьев, И. Б.* Интегрированные автоматизированные системы управления в машиностроении / И. Б. Арефьев, Г. Б. Незлинг, Б. Л. Кукор. – Л. : Машиностроение, 1988. – 224 с.

7. *Александров, С. Е.* Математическое моделирование металлургических процессов : учеб. пособие / под ред. В. М. Голода. – Л. : ЛПИ, 1988. – 88 с.

## Оглавление

Предисловие.....	3
1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ПРОГРАММ.....	4
1.1. Модуль MeshCAST.....	4
1.2. MeshCAST.....	7
1.3. PreCAST.....	8
1.4. ProCAST.....	9
1.5. ViewCAST.....	9
2. ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ.....	10
3. СИММЕТРИЯ.....	14
4. СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА.....	14
4.1. Заливаемый материал.....	15
4.2. Экзотермический материал.....	18
4.3. Фильтрующий материал.....	19
4.4. Материал формы.....	20
4.5. Термодинамическая база данных (Thermodynamic databaces).....	21
5. ЦИКЛИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.....	24
6. ВИРТУАЛЬНАЯ ФОРМА.....	27
7. ШАБЛОНЫ ПРОЦЕССОВ.....	30
8. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ «ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ».....	30
Заключение.....	32
Контрольные вопросы.....	33
Библиографический список.....	35

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ»

Составитель

НОВИКОВА Юлия Александровна

Ответственный за выпуск - зав. кафедрой профессор В.А. Кечин

Подписано в печать 05.07.10.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 2,09. Тираж 50 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.