

ГЛАВА 16. СИСТЕМА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

Система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ» предназначена для решения линейных задач стационарной или нестационарной теплопроводности. Данная система может работать совместно с системами «МОНТАЖ», «ФИЛЬТРАЦИЯ» и «ДИНАМИКА+».

С системой «ДИНАМИКА+» активизируется нестационарная теплопроводность. При этом нестационарная теплопроводность не может сочетаться с задачей фильтрации.

Вычисленная температура является нагрузкой для линейной или нелинейной статической задачи.

16.1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для выполнения расчета температурного поля необходимо при создании задачи установить флажок **Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ»)** в окне **Параметры проекта** (см. п. 2.3). В табл. 16.1 приведены возможные комбинации для создания задачи с использованием теплопроводности.


Таблица 16.1 Типы создаваемых задач

Тип создаваемой задачи	Положение флажков
Линейная задача со стационарной теплопроводностью	<input type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Нелинейная задача со стационарной теплопроводностью	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Линейная монтажная задача со стационарной теплопроводностью	<input type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)

Тип создаваемой задачи	Положение флажков
Нелинейная монтажная задача со стационарной теплопроводностью	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Нелинейная монтажная задача со стационарной теплопроводностью и расчетом фильтрации	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Нелинейная задача со стационарной теплопроводностью и расчетом фильтрации	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Линейная задача с нестационарной теплопроводностью и динамикой во времени	<input type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Линейная монтажная задача с нестационарной теплопроводностью и динамикой во времени	<input type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)

Продолжение таблицы 16.1

Тип создаваемой задачи	Положение флажков
Нелинейная задача с нестационарной теплопроводностью и динамикой во времени	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)
Нелинейная монтажная задача с нестационарной теплопроводностью и динамикой во времени	<input checked="" type="checkbox"/> В задаче будут присутствовать нелинейные элементы <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОНТАЖ» <input checked="" type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «ДИНАМИКА+» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «МОСТ» <input type="checkbox"/> В задаче будет использоваться система «PUSHOVER» <input type="checkbox"/> Определение упруго-геометрических характеристик композитного поперечного сечения стержня (система «СЕЧЕНИЕ») <input checked="" type="checkbox"/> Задача расчета температурного поля (система «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ») <input type="checkbox"/> Задача моделирования фильтрации в насыщенном влагой грунте (система «ФИЛЬТРАЦИЯ»)

Чтобы задать загрузки, нужно воспользоваться редактором загрузок. Для перехода в редактор необходимо выполнить команду **Редакторы** ⇌ **Редактор загрузок** или нажать кнопку  на панели инструментов. В зависимости от выбранной комбинации систем, для стационарной теплопроводности будут доступны следующие типы загрузок:

- вычисление температурного поля;
- стадия нелинейного нагружения с вычислением температурного поля;
- стадия возведения сооружения с вычислением температурного поля.

При решении задачи нестационарной теплопроводности температурная задача решается в рамках динамического нагружения.

Задание параметров загрузок для задач вычисления температурного поля ничем не отличается от статических или нелинейных загрузок. Нагрузки, используемые в системе «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ», перечислены в Главе 2 (п. 2.10).

Построение геометрии схемы осуществляется с помощью обычных инструментов построения ПК ЛИРА 10.12 (см. Главу 2). В расчете теплопроводности могут участвовать все имеющиеся в ПК ЛИРА 10.12 конечные элементы (кроме, естественно, специальных).

Граничные условия теплопроводности в ПК ЛИРА 10.12 моделируются нагрузками **Заданная температура в узле**, связями по температуре или элементами теплообмена.

Связь по температуре эквивалентна заданной температуре в узле, равной нулю. Отсутствие граничных условий соответствует термоизоляции — тепловой поток через поверхность равен нулю.

Моделирование теплообмена с окружающей средой осуществляется специальными элементами поверхностного теплообмена 151 (одноузловой), 168 (стержневой), 162 и 164 (пластинчатые). Эти элементы нужно располагать на поверхности объекта, на которой происходит теплообмен с внешней средой. Конечные элементы с соответствующими элементами теплообмена показаны на рис. 16.1.

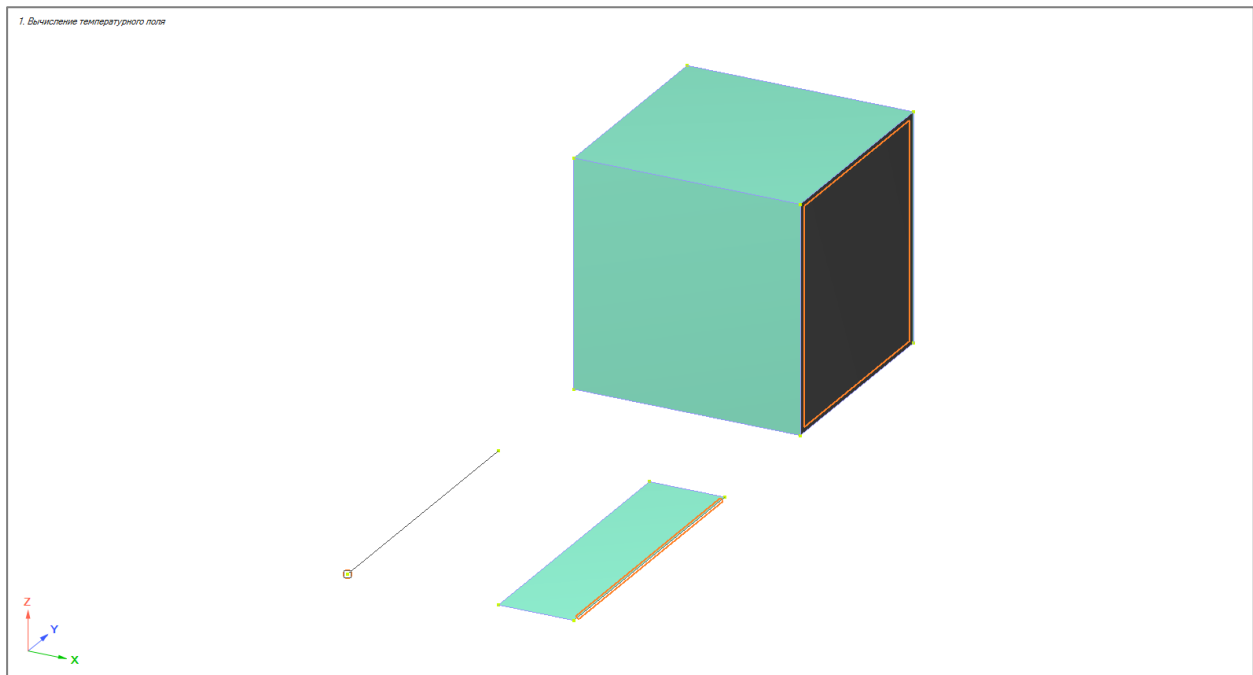


Рис. 16.1. Конечные элементы с соответствующими элементами теплообмена

Для каждого типа элементов теплообмена существуют нагрузка (температура окружающей среды) и специальный материал, позволяющий задать коэффициент теплообмена и размер элемента (для стержневого — ширина, для одноузлового — площадь). Специальные материалы доступны в редакторе материалов в раскрывающемся списке **Специальные материалы** (рис. 16.2).

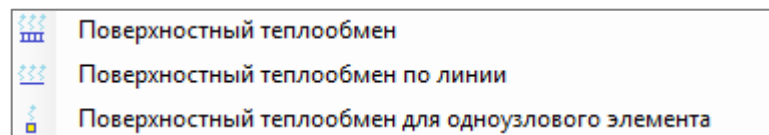


Рис. 16.2. Специальные материалы для поверхностного теплообмена

Задание параметров материала для расчета температурного поля осуществляется в **Редакторе материалов** (рис. 16.3).

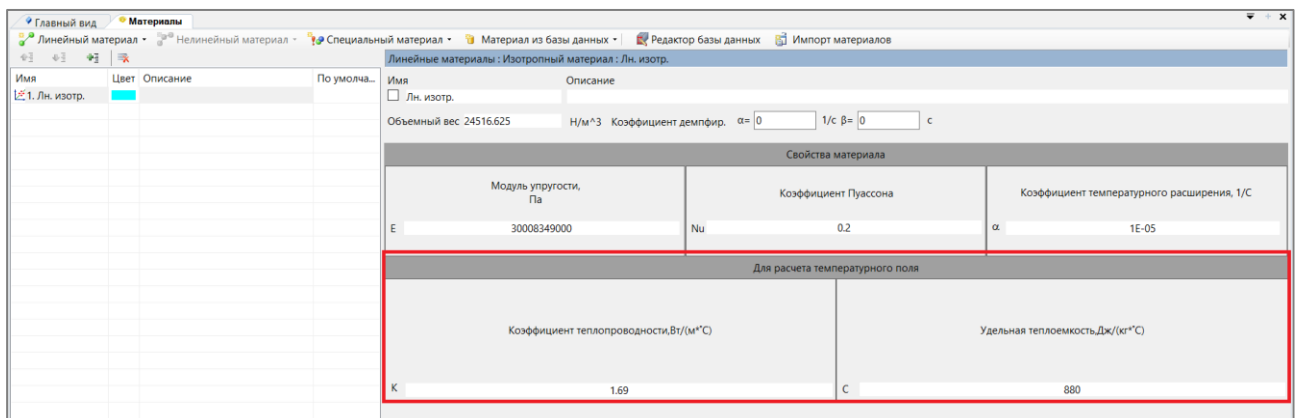


Рис. 16.3. Теплофизические свойства материала

Для задач теплопроводности есть возможность назначить начальную температуру в узлах (см. п. 2.11.21). Также начальная температура может быть применена путем переноса расчета температурного поля из выбранного загрузки в исходные данные для выделенных узлов или всей схемы (см. Главу 3). Перенос начальной температуры полезен, например, если нужно посчитать на первом шаге стационарную задачу теплопроводности, а на втором — нестационарную тепловую задачу. Если задана ненулевая начальная температура, то для назначения нагрузок температура может учитываться как приращение или как абсолютное значение.

16.2 РАСЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Для моделирования сложных и разнообразных процессов теплопереноса, конвективного теплообмена все большую популярность приобретают численные методы. Преимущества численных методов заключаются в том, что они позволяют получить искомый результат с учетом реальных свойств материалов и геометрии всех входящих в расчетную область тел. Одним из таких методов является метод конечных элементов, используемый для решения дифференциальных уравнений с частными производными, возникающих при решении задач прикладной физики.

В матричном виде нестационарное уравнение теплопроводности записывается в виде:

$$[C] \cdot \frac{\partial}{\partial t} \{T\} + [K] \cdot \{T\} = \{F\},$$

где $[K]$ — положительно определенная симметричная матрица коэффициентов теплопроводности, или просто матрица теплопроводности;

$[C]$ — матрица теплоемкости;

$\{T\}$ и $\{F\}$ — вектора температуры и правой части соответственно.

В ПК ЛИРА 10 используется неявная схема интегрирования:


$$[C] \cdot \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta\tau} + [K] \cdot T_{i+1} = F_i,$$

где $\Delta\tau$ — шаг по времени (шаг дискретизации);

T_i, T_{i+1} — вектора температур в текущий и следующий моменты времени;

F_i — вектор правой части в текущий момент времени.

16.3 РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Для просмотра результатов расчета температурного поля воспользуйтесь командой **Спец. результаты** ⇨ **Теплопроводность** или кнопкой  на панели инструментов. Эти же результаты можно вывести и в табличном виде (с помощью режима **Таблицы результатов**).

Панель режима **Температурное поле** (рис. 16.4) позволяет выводить на экран результаты распределения начальной и фактической, для данного загрузки, температуры по узлам или элементам, а также плотность теплового потока по элементам.

При просмотре результатов плотности теплового потока и установленном флажке **Направление температурного градиента для пластинчатых элементов** в центре элементов будут отображены векторы направления температурного градиента (рис. 16.5).

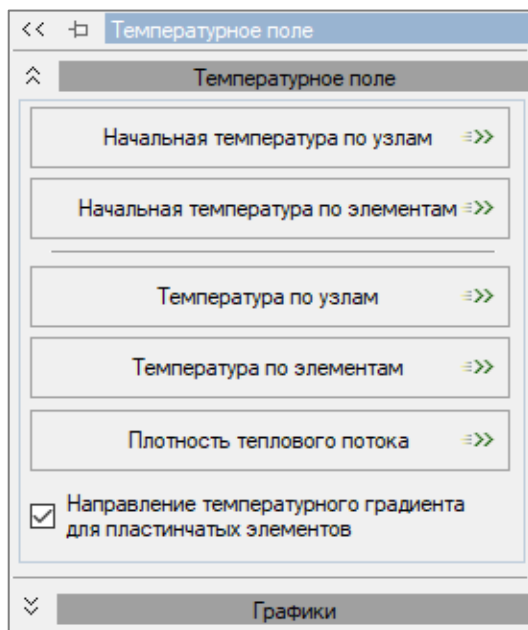


Рис. 16.4. Панель режима Температурное поле

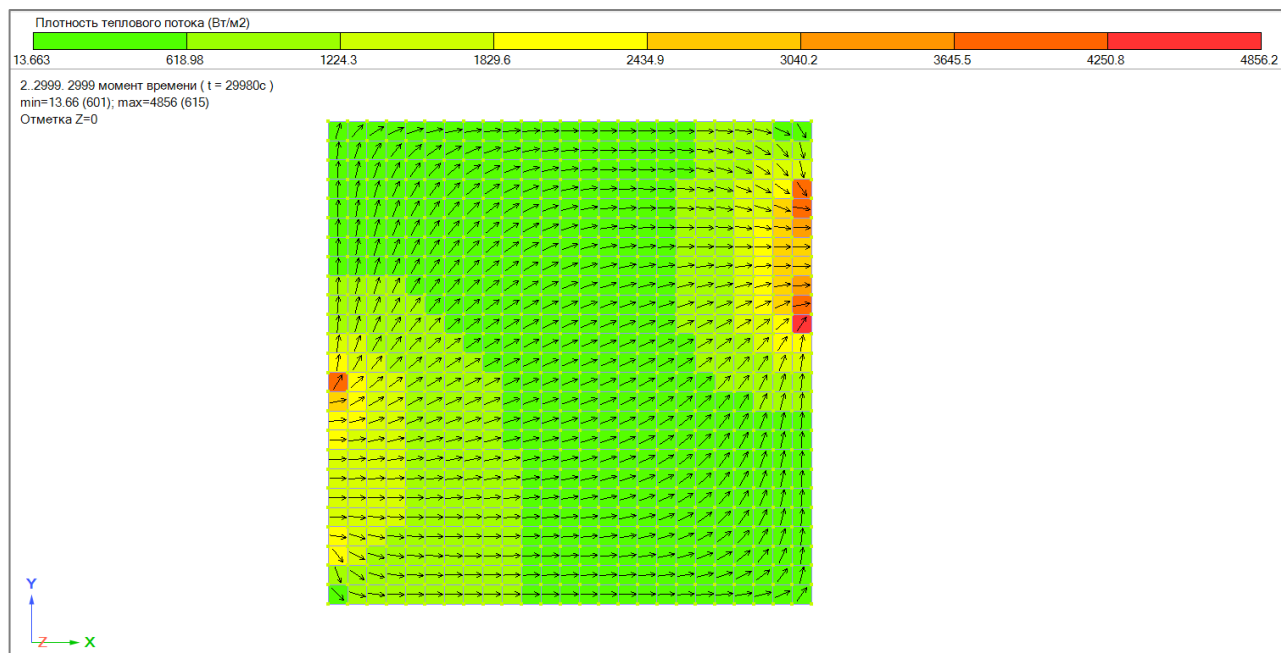


Рис. 16.5. Результаты расчета температурного поля