

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ. ЧАСТЬ 2. СТРУКТУРА И МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

К. С. Корнилов, С. В. Карпушкин, В. Г. Мокрозуб

*Кафедра «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»,
karp@mail.gaps.tstu.ru; ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия*

Ключевые слова: гидравлический пресс; задачи теплового расчета; математические и информационные модели; поддержка принятия решений; процедурные модели; реляционная база данных.

Аннотация: Представлена структура системы поддержки принятия решений при проектировании гидравлических прессов, предназначенных для температурной обработки изделий из резины и пластмасс, металлов и сплавов. Рассмотрены задачи теплового расчета элементов пресса и информационные потоки между ними.

Задачи оформлены в виде процедурных моделей:

- определения конструкции системы нагрева пресса;
- расчета температурных полей изделий в период их обработки;
- определения температур внешних поверхностей теплоизоляции.

В состав каждой из процедурных моделей входят математическая и информационная модель. Перечислены соотношения математических моделей. Представлена общая структура информационной модели и ее разновидности, входящие в состав перечисленных процедурных моделей, структура реляционной базы данных, используемой в качестве хранилища информационных моделей.

Введение

На кафедре «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» Тамбовского государственного технического университета разрабатывается система автоматизированного проектирования гидравлических прессов, предназначенных для тепловой обработки изделий из резины и пластмасс, металлов и сплавов [1]. Система включает подсистемы поддержки принятия решений и разработки конструкторской документации. В данной публикации рассматривается структура и функции первой подсистемы. Основное внимание уделено задачам теплового расчета элементов конструкции пресса (рис. 1).

Для представления информационных потоков между задачами составим функциональные диаграммы поддержки принятия решений в формате IDEF0.

Функциональные диаграммы поддержки принятия решений

На рисунке 2 представлена диаграмма информационных потоков между задачами верхнего уровня: теплового, гидравлического и механического расчетов проектируемого пресса:

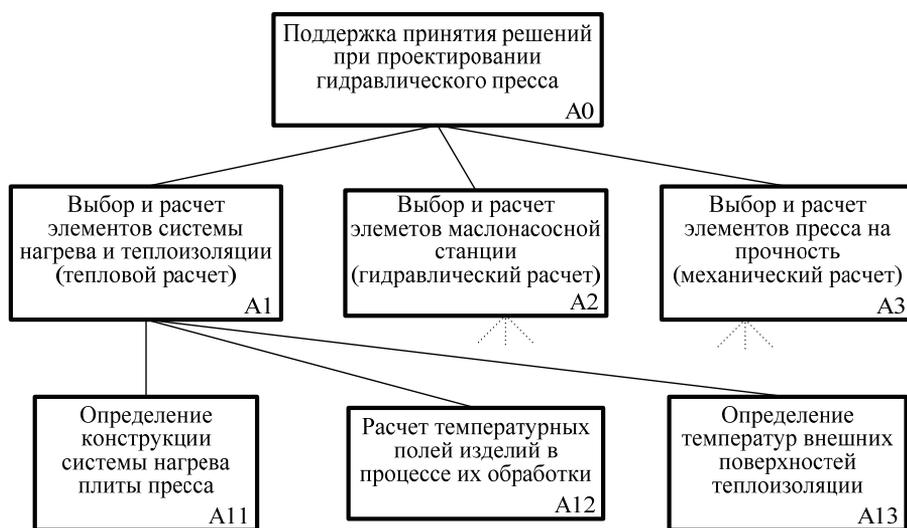


Рис. 1. Дерево задач поддержки принятия решений при проектировании гидравлического пресса

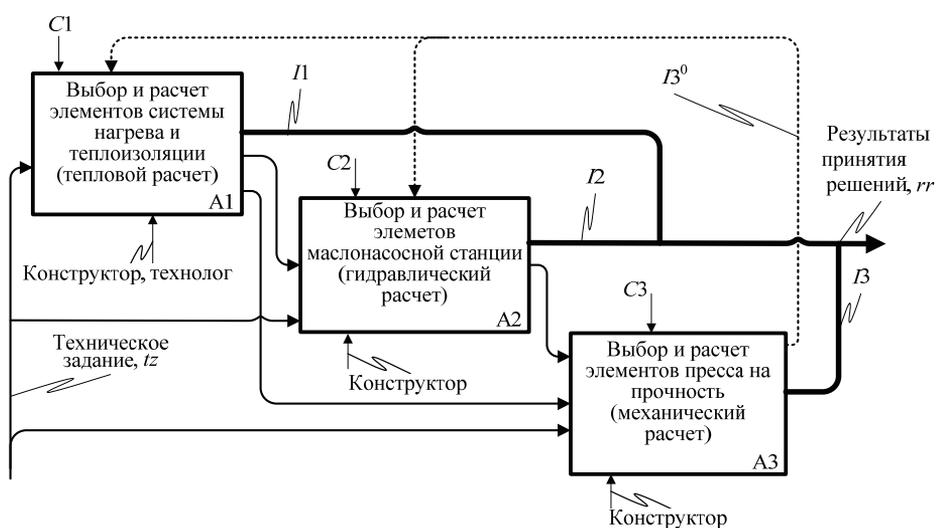


Рис. 2. Функциональная диаграмма A0

– tz – техническое задание, включающее значения основных параметров пресса (число этажей, размер нагревательных плит, усилие сжатия), а также технологический регламент обработки изделий;

– $C1, C2, C3$ – нормативные документы, необходимые для проведения тепловых, гидравлических и механических расчетов элементов пресса (ГОСТы, руководящие документы, справочники свойств материалов);

– $I1$ – результаты теплового расчета элементов конструкции пресса (нагревательных плит, пресс-форм, обрабатываемых изделий, теплоизоляции);

– $I2$ – результаты гидравлического расчета пресса (выбора элементов масляной станции и расчета их параметров);

– $I3$ – результаты механического расчета элементов пресса (плит, рамы, стола пресса, гидроцилиндров);

– I^0 – сведения о проблемных элементах пресса, параметры которых необходимо изменить (материал и толщина нагревательных плит, материал, конфигурация и местоположение пресс-форм, материал и толщина плит теплоизоляции, параметры конструкции гидроцилиндров);

– $rr = I1 \cup I2 \cup I3$ – результаты принятия решений.

Преобразование информационного потока, определенного техническим заданием tz , в информационный поток rr результатов поддержки принятия решений осуществляется процедурная модель FM , в состав которой входят информационная IM и математическая MM модели проектируемого пресса:

$$FM : tz \xrightarrow{IM, MM} rr .$$

Согласно функциональной диаграмме А0 (см. рис. 2) процедурная модель FM представляется в виде кортежа

$$FM = \langle FM1, FM2, FM3 \rangle ,$$

где $FM1 : tz \cup I^0 \xrightarrow{IM1, MM1} I1$ – процедурная модель определения конструкции системы нагрева и теплоизоляции; $FM2 : tz \cup I1 \cup I^0 \xrightarrow{IM2, MM2} I2$ – процедурная модель выбора и расчета элементов маслонасосной станции; $FM3 : tz \cup I1 \cup I2 \xrightarrow{IM3, MM3} I3$ – процедурная модель выбора и расчета элементов пресса на прочность.

Соответственно информационная и математическая модели пресса представляют собой кортежи

$$IM = \langle IM1, IM2, IM3 \rangle , \quad MM = \langle MM1, MM2, MM3 \rangle ,$$

где $IM1, MM1; IM2, MM2; IM3, MM3$ – информационные и математические модели соответственно определения конструкции системы нагрева и теплоизоляции; выбора и расчета элементов маслонасосной станции; выбора и расчета элементов пресса на прочность.

Диаграмма информационных потоков между задачами теплового расчета проектируемого пресса представлена на рис. 3:

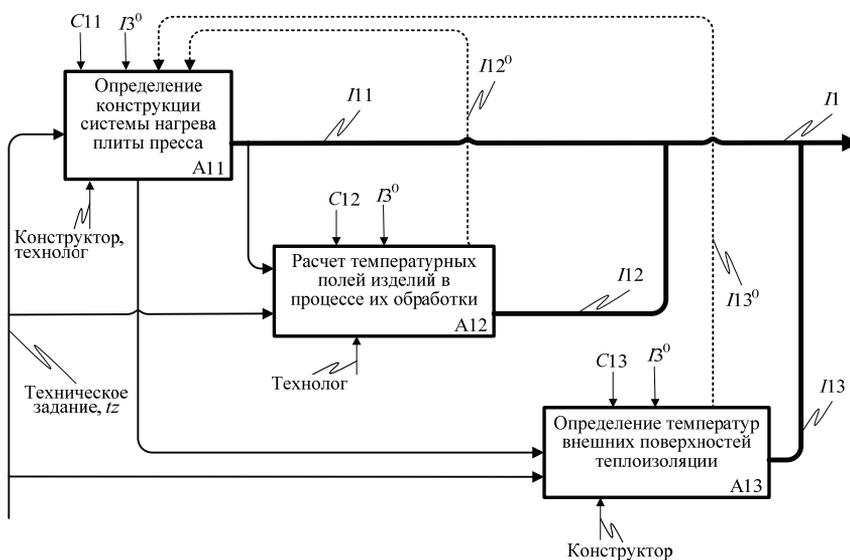


Рис. 3. Функциональная диаграмма А1

– $C11, C12, C13$ – нормативные документы, используемые в расчетах системы нагрева плиты прессы, температурных полей изделий в процессе их обработки и температур поверхностей плит теплоизоляции;

– $I11$ – тип, число и мощности нагревательных элементов плиты прессы, их конфигурации и местоположение, темп нагрева плиты и перепад температур по ее рабочей поверхности;

– $I12$ – параметры системы стабилизации температур рабочих поверхностей плит, перепады температур в объеме изделий;

– $I13$ – максимальные температуры внешних поверхностей плит теплоизоляции;

– $I12^0$ – проблемы обеспечения изменения температуры изделий в процессе обработки (слишком большие перепады температур по объему некоторых изделий);

– $I13^0$ – проблемы элементов теплоизоляции (слишком большая толщина, повышенная температура внешних поверхностей).

Процедурная модель $FM1$ преобразования информационного потока технического задания tz в информационный поток $I1$ результатов тепловых расчетов и входящие в ее состав информационная $IM1$ и математическая $MM1$ модели представляют собой кортежи

$$FM1 = \langle FM11, FM12, FM13 \rangle, \quad IM1 = \langle IM11, IM12, IM13 \rangle,$$

$$MM1 = \langle MM11, MM12, MM13 \rangle,$$

где $FM11: tz \cup I13^0 \cup I12^0 \cup I13^0 \xrightarrow{IM11, MM11} I11$ – процедурная модель определения конструкции системы нагрева плиты прессы;

$FM12: tz \cup I13^0 \cup I11 \xrightarrow{IM12, MM12} I12$ – процедурная модель расчета температурных полей изделий в период их обработки;

$FM13: tz \cup I13^0 \cup I11 \xrightarrow{IM13, MM13} I13$ – процедурная модель определения температур внешних поверхностей плит теплоизоляции; $IM11, MM11; IM12, MM12; IM13, MM13$ – информационные и математические модели соответственно определения конструкции системы нагрева плит прессы; расчета температурных полей изделий в период их обработки; определения температур внешних поверхностей плит теплоизоляции.

Информация, необходимая для выполнения процедурных моделей хранится и обрабатывается в информационном хранилище, например, в реляционной базе данных. Структура информационных массивов, согласно которой в дальнейшем разрабатывается структура информационного хранилища, характеризуется информационными моделями.

Каждая процедурная модель имеет множество исходных данных $X \in XV$ и множество результатов решения $Y \subset YV$, где XV и YV – множества допустимых значений X и Y . В свою очередь $XV \subset DX$ и $YV \subset DY$, где DX, DY – множества (домены) возможных значений X и Y . Например, указание на материал плиты входит в состав исходных данных X . Множество XV – перечень марок сталей, которые удовлетворяют требованиям технического задания, а DX представляет собой множество всех марок сталей, используемых при разработке прессов.

Таким образом, любую из вышеупомянутых информационных моделей можно представить в виде кортежа

$$IM = \langle X, Y, DX, DY, IZ \rangle,$$

где X – перечень исходных данных, необходимых для выполнения процедурной модели; Y – перечень результатов ее выполнения; DX, DY – домены возможных

значений исходных данных (информация, необходимая для выполнения процедурной модели) и результатов выполнения процедурной модели соответственно; IZ – дополнительная информация, которая требуется в процессе выполнения процедурной модели.

Заметим, что X и Y – не исходные данные, а только перечень исходных данных (структура). Информация вносится в X и Y в процессе выполнения конкретной процедурной модели. Множества DX, DY, IZ , в отличие от X и Y , содержат как структуру, так и собственно информацию, которая вводится до выполнения процедурных моделей, а точнее, может вводиться и уточняться постоянно (процесс поддержки информационного обеспечения).

Далее дается подробная характеристика процедурных моделей $FM11, FM12$ и $FM13$.

Процедурная модель определения конструкции системы нагрева плиты пресса

Определение конструкции системы нагрева плиты пресса включает выбор типа, определение числа и мощности нагревательных элементов, их конфигурации и местоположения, расчет темпа нагрева плиты и перепада температур по ее рабочей поверхности. Выбор типа нагревателей основан на сравнении эффективности применения парового, омического и индукционного нагревов.

Критерии оценки эффективности конструкции системы нагрева плиты:

- 1) продолжительность периода нагрева плиты от температуры окружающей среды до рабочей температуры (темп нагрева);
- 2) перепад температур по рабочей поверхности плиты в период нагрева и стабилизации температуры;
- 3) энергоемкость плиты, то есть затраты энергии на нагрев и стабилизацию температуры.

Определение данных характеристик основано на результатах теплового расчета: распределении температур в объеме плиты в период нагрева и стабилизации.

Математическая модель определения конструкции системы нагрева плиты проектируемого пресса $MM11$ включает следующие соотношения [2]:

– уравнение процесса распространения тепла в нагревательной плите – нестационарное уравнение теплопроводности с внутренними источниками тепла с начальным (температура плиты равна температуре окружающего воздуха) и граничными условиями (условия 3-го рода – теплообмен поверхностями плиты с окружающим воздухом);

– зависимости интенсивности внутренних тепловыделений от координат, вида нагревателей и средней температуры плиты;

– соотношения для определения средней мощности нагревателей в период разогрева плиты и стабилизации ее температуры;

– соотношения для определения коэффициентов теплоотдачи от поверхностей плиты к окружающему воздуху конвекцией и излучением (критериальные уравнения свободной конвекции и закон Стефана–Больцмана);

– условие обеспечения необходимой суммарной мощности нагревателей с учетом требуемого темпа нагрева плиты и условий стабилизации ее температуры;

– ограничения на перепад температур по рабочей поверхности плиты, геометрические размеры пазов под нагреватели или паровых каналов и их положение в плите (допустимый радиус изгиба спирального омического нагревателя), длину провода индукционного или омического нагревателя.

В перечень исходных данных, необходимых для выполнения процедурной модели $FM11$, входит следующая информация.

1. Данные технического задания $tz_1 \subset tz$:
 - габаритные размеры плиты, м, – длина l , ширина s , высота h , высота крышки h_k , ширина краев $\delta_{кр}$, которые не включаются в рабочую поверхность, и минимальное расстояние между пазами под нагреватели и паровыми каналами δ_n ;
 - мощность плиты N_p , Вт;
 - рабочая температура T_z , °С, требуемый темп нагрева плиты от начальной до рабочей температуры τ_z , с;
 - допустимый перепад температур по рабочей поверхности плиты по окончании периода нагрева и в период стабилизации ΔT_z , °С;
 - условия стабилизации температуры плиты – нижний T_d и верхний T_u пороги срабатывания позиционного регулятора, °С, минимальный период обновления управляющего сигнала П- или ПИД-регулятора $\Delta \tau_p$, с.

Таким образом, подмножество tz_1 технического задания на проектирование прессы можно определить как

$$tz_1 = \{s, h, h_k, \delta_{кр}, \delta_n, N_p, T_z, \tau_z, \Delta T_z, T_d, T_u, \Delta \tau_p\}.$$

Элементы подмножества tz_1 являются интервальными, например, $s_{\min} < s < s_{\max}$, где s_{\min} , s_{\max} – соответственно минимальное и максимальное возможные значения s . Обозначим интервал $[s_{\min}, s_{\max}]$ как $[s]$. С учетом аналогичных обозначений интервалов изменения других элементов подмножества tz_1 домен данных этого подмножества технического задания запишется в виде

$$Dt_1 = \{[s], [h], [h_k], [\delta_{кр}], [\delta_n], [N_p], [T_z], [\tau_z], [\Delta T_z], [T_d], [T_u], [\Delta \tau_p]\}.$$

2. Характеристики материала плиты hp :

- марка материала m_p (обозначение стали или сплава);
 - теплофизические характеристики материала плиты – плотность ρ_p , кг/м³, удельная теплоемкость c_p , Дж/(кг·К), коэффициент теплопроводности λ_p , Вт/(м·К).
- Обозначив множество характеристик материала плиты

$$hp = \{m_p, \rho_p, c_p, \lambda_p\}$$

и учитывая интервальный характер его элементов, представим домен характеристик материала плиты как

$$Dhp = \{MS_p, [\rho_p], [c_p], [\lambda_p]\},$$

где $MS_p = \{m_{пк1}, k1 = 1, \dots, K1\}$ – множество марок ферромагнитных сталей, используемых для изготовления плит гидравлических прессов.

3. Характеристики нагревателей hn :

- материал m_n (обозначение материала или сплава) и диаметр d_n , м, провода индукторов, омических спиралей, толщина его изоляции $s_{из}$, м;
- рабочее напряжение индукторов, омических спиралей U_n , В, рабочее давление греющего пара P , Па;
- форма паровых каналов f_k – вертикальные (перпендикулярно длине) или горизонтальные (параллельно длине), размеры типовых индукторов (длина l_n , м, и ширина s_n , м).

Множество характеристик нагревателей

$$hn = \{m_n, d_n, s_{из}, U_n, P, f_k, l_n, s_n\},$$

домен характеристик нагревателей

$$Dhn = \{MS_n, DH, [s_{из}], [U_n], [P], FK, LH, SH\},$$

где $MS_n = \{m_{нк1}, k1 = 1, \dots, K1\}$ – множество марок материалов, используемых для изготовления провода индукционных или омических нагревателей; $DH = \{dh_{к2}, k2 = 1, \dots, K2\}$ – множество возможных диаметров провода; $FK = \{fk_{к3}, k3 = 1, \dots, K3\}$ – множество возможных форм паровых каналов; $LH = \{lh_{к4}, k4 = 1, \dots, K4\}$ – множество возможных значений длины типовых индукторов; $SH = \{sh_{к5}, k5 = 1, \dots, K5\}$ – множество возможных значений ширины типовых индукторов.

Результаты $П1$ выполнения процедурной модели $FM11$:

– вид v_n (паровой, омический, индукционный), число n_n , мощности нагревателей $N_{ni}, i = 1, \dots, n_n$, Вт;

– расположение нагревателей в объеме плиты – расстояния между осями паровых каналов $\Delta l_i, i = 1, \dots, n_n - 1$, координаты центров симметрии индукторов $x_{ni}, y_{ni}, i = 1, \dots, n_n$, м, на рабочей поверхности плиты (за точку 0,0 принимается левый нижний угол рабочей поверхности) или 2D-модели пазов под омические спирали;

– средняя температура рабочей поверхности по окончании периода нагрева и в период стабилизации $T_p, ^\circ\text{C}$, темп нагрева плиты $\tau_p, \text{с}$;

– перепад температур по рабочей поверхности по окончании периода нагрева и в период стабилизации $\Delta T_p, ^\circ\text{C}$;

– суммарная энергоемкость плиты E_n , Дж, в период ее разогрева и стабилизации рабочей температуры.

Обозначим множество результатов как

$$R1 = \{n_n, 2D, T_p, \tau_p, \Delta T_p, E_n, N_n, \Delta L, XY_n\},$$

где $N_n = \{N_{ni}, i = 1, \dots, n_n\}$, $\Delta L = \{\Delta l_i, i = 1, \dots, n_n - 1\}$, $XY_n = \{x_{ni}, y_{ni}, i = 1, \dots, n_n\}$, тогда домен результатов

$$DR1 = \{[n_n], [T_p], [\tau_p], [\Delta T_p], [E_n], [N_n], [\Delta L], [x_n], [y_n]\}.$$

Таким образом, информационная модель определения конструкции системы нагрева плиты пресса запишется в следующем виде

$$IM11 = \langle tz_1, hp, hn, R1, Dtz_1, Dhp, Dhn, DR1 \rangle.$$

Процедурная модель расчета температурных полей изделий в процессе их обработки

Конфигурации температурных полей изделий, находящихся между плитами пресса (часто внутри пресс-форм), зависят от местоположения изделия на рабочей поверхности плиты, а при использовании пресс-форм – от их конструкции, свойств материала и местоположения. Кроме того, необходимо учитывать влияние способа стабилизации рабочей температуры плиты.

Критерии оптимальности температурных полей изделий:

1) перепад температур по объему изделий в течение всех этапов периода обработки;

2) степень соответствия средней температуры изделия техническому заданию в рамках соответствующего периода обработки.

Математическая модель $MM12$ расчета температурных полей изделий включает [2 – 4]:

– уравнения процессов распространения тепла в изделиях (и пресс-формах) – стационарные уравнения теплопроводности с граничными условиями: равенство температур и тепловых потоков на границе между изделием и плитой (изделием

и пресс-формой, пресс-формой и плитой), соотношения для расчета конвективного и лучистого теплового потока от внешних поверхностей изделий (пресс-форм) в окружающий воздух;

– соотношения, характеризующие способ стабилизации рабочей температуры плит в течение всех периодов обработки изделий (позиционное, пропорциональное, ПИД-регулирование).

Для выполнения процедурной модели *FM12* необходимы следующие исходные данные.

1. Данные технического задания $tz_2 \subset tz$:

– 3D-модели обрабатываемых изделий и элементов пресс-форм;

– продолжительности τ_0 , с, всех n_0 периодов обработки изделий;

– средняя температура изделий для всех периодов TOZ , °C;

– допустимые перепады температур по объему изделия для всех периодов ΔTOZ , °C;

– условия стабилизации температуры плиты – нижний T_d и верхний T_u пороги срабатывания позиционного регулятора, °C, минимальный период обновления управляющего сигнала П- или ПИД-регулятора $\Delta\tau_p$, с.

Определим подмножество tz_2 технического задания на проектирование прессы как

$$tz_2 = \{3D, n_0, \tau_0, TOZ, \Delta TOZ, T_d, T_u, \Delta\tau_p\},$$

где 3D – 3D-модель изделия и элементов пресс-формы для ее обработки; $\tau_0 = \{\tau_{0j}, j = 1, \dots, n_0\}$ – множество значений продолжительности периодов обработки изделий; $TOZ = \{Toz_j, j = 1, \dots, n_0\}$ – множество значений средних температур изделий для всех периодов; $\Delta TOZ = \{\Delta Toz_j, j = 1, \dots, n_0\}$ – множество значений допустимых перепадов температур по объему изделий для всех периодов.

Поскольку значения продолжительностей периодов обработки, средних температур изделий и допустимых перепадов температур могут быть интервальными, см. выше, домен данных подмножества tz_2 технического задания

$$Dt_2 = \{3D, n_0, [\tau_0], [TOZ], [\Delta TOZ], [T_d], [T_u], [\Delta\tau_p]\}.$$

2. Характеристики материалов изделий и пресс-форм *hpm*:

– марки материалов m_i, m_ϕ (обозначение);

– теплофизические характеристики материалов – плотности ρ_i, ρ_ϕ , кг/м³, удельные теплоемкости c_i, c_ϕ , Дж/(кг·K), коэффициенты теплопроводности λ_i, λ_ϕ , Вт/(м·K).

Множество характеристик материалов изделий и пресс-форм

$$hpm = \{m_i, m_\phi, \rho_i, \rho_\phi, c_i, c_\phi, \lambda_i, \lambda_\phi\}.$$

С учетом интервального характера элементов множества *hpm* домен характеристик материалов изделий и пресс-форм

$$Dhpm = \{M_i, M_\phi, [\rho_i], [\rho_\phi], [c_i], [c_\phi], [\lambda_i], [\lambda_\phi]\},$$

где $M_i = \{m_{ik6}, k6 = 1, \dots, K6\}$ – множество марок материалов обрабатываемых изделий (резиновых смесей, пластиков, металлов и сплавов); $M_\phi = \{m_{ik7}, k7 = 1, \dots, K7\}$ – множество марок металлов и сплавов, применяемых для изготовления пресс-форм.

Результаты *I12* выполнения процедурной модели *FM12*: стационарные температурные поля в объеме всех обрабатываемых изделий в течение всех периодов их обработки TO , °C, и на их основе – средние температуры изделий TOP , °C, и перепады температур по их объему в течение всех периодов ΔTOP , °C.

Множество результатов обозначим как

$$R2 = \{TO, TOP, \Delta TOP\},$$

где $TO = \{To_j, j = 1, \dots, n_0\}$ – множество стационарных температурных полей для всех периодов обработки изделий; $TOP = \{Top_j, j = 1, \dots, n_0\}$ – множество расчетных значений средних температур изделий для всех периодов; $\Delta TOP = \{\Delta Top_j, j = 1, \dots, n_0\}$ – множество расчетных значений перепадов температур по объему изделий для всех периодов.

Домен результатов выполнения процедурной модели $FM12$

$$DR2 = \{TO, [TOP], [\Delta TOP]\}.$$

Следовательно, информационная модель расчета температурных полей изделий в процессе их обработки имеет вид

$$IM12 = \langle tz_2, hpm, R2, Dtz2, Dhpm, DR2 \rangle.$$

Процедурная модель определения температур внешних поверхностей теплоизоляции

Температуры внешних поверхностей теплоизоляции системы нагрева гидравлического пресса должны удовлетворять ограничениям на максимально допустимые температуры элементов пресса, находящихся в соприкосновении с плитами теплоизоляции: рамы и стола.

Математическая модель $MM13$ определения температур внешних поверхностей теплоизоляции включает [2]:

– соотношения для расчета значений фиктивных коэффициентов теплоотдачи, с помощью которых моделируется влияние стационарных тепловых процессов в нагревательных плитах на температуры элементов пресса;

– соотношения для определения термических сопротивлений слоев (плит) теплоизоляции и температур поверхностей плит в стационарных условиях.

Для выполнения процедурной модели $FM13$ необходима следующая информация.

1. Данные технического задания $tz_3 \subset tz$:

– число $n_{из}$, материал $m_{из}$ (обозначение материала) и высота $h_{из}$, м, каждой плиты теплоизоляции системы нагрева пресса;

– допустимые температуры верхней поверхности верхнего пакета плит T_d^B , °С, и нижней поверхности нижнего пакета плит T_d^H , °С, (соответствуют допустимым температурам поверхностей элементов пресса, контактирующих с теплоизоляцией).

Подмножество tz_3 технического задания на проектирование пресса обозначим как

$$tz_3 = \{n_{из}, M_{из}, H_{из}, T_d^B, T_d^H\},$$

где $M_{из} = \{m_{изl}, l = 1, \dots, n_{из}\}$ – марки материалов плит теплоизоляции; $H_{из} = \{h_{изl}, l = 1, \dots, n_{из}\}$ – значения высот плит теплоизоляции.

С учетом возможности использования разного количества плит теплоизоляции, интервальности значений $h_{из}$, T_d^B , T_d^H и возможности выбора материалов плит теплоизоляции, домен данных подмножества tz_3 технического задания

$$Dtz3 = \{[n_{из}], VM_{из}, [H_{из}], [T_d^B], [T_d^H]\},$$

где $VM_{из} = \{m_{изk8}, k8 = 1, \dots, K8\}$ – множество марок плит теплоизоляции систем нагрева гидравлических прессов.

2. Характеристики материалов плит теплоизоляции hi – плотность $\rho_{из}$, кг/м³, удельная теплоемкость $c_{из}$, Дж/(кг·К), коэффициент теплопроводности $\lambda_{из}$, Вт/(м·К).

Множество характеристик материалов плит теплоизоляции

$$hi = \{RO_{из}, C_{из}, LA_{из}\},$$

где $RO_{из} = \{\rho_{из}, l = 1, \dots, n_{из}\}$ – плотности; $C_{из} = \{c_{из}, l = 1, \dots, n_{из}\}$ – удельные теплоемкости, $LA_{из} = \{\lambda_{из}, l = 1, \dots, n_{из}\}$ – коэффициенты теплопроводности материалов плит теплоизоляции, а домен их характеристик

$$Dhi = \{[RO_{из}], [C_{из}], [LA_{из}]\}.$$

Результаты ПЗ выполнения процедурной модели FM13: максимальные температуры внешних поверхностей верхнего и нижнего пакетов плит теплоизоляции в стационарных условиях $T_{из}^B$, °C, $T_{из}^H$, °C, то есть множество результатов

$$R3 = \{T_{из}^B, T_{из}^H\},$$

а домен результатов

$$DR3 = \{[T_{из}^B], [T_{из}^H]\}.$$

Таким образом, информационная модель определения температур внешних поверхностей теплоизоляции имеет вид

$$IM13 = \langle tz_3, hi, R3, Dt3, Dhi, DR3 \rangle.$$

Представление информационных моделей в реляционной базе данных

В качестве хранилища информационных моделей используется реляционная база данных. Для определения таблиц структуры базы данных проведем анализ элементов представленных выше информационных моделей. Данные модели содержат элементы пресса (плита нагревательная, нагревательный элемент, провод нагревательного элемента, плита теплоизоляции). Элементы имеют характеристики (толщина, марка материала нагревательной плиты, тип нагревательного элемента, температурное поле плиты). Каждой характеристике ставится в соответствие ее значение. Разновидности значений характеристик:

- число, например, толщина плиты, тип характеристики 1;
- вектор, например, совокупность параметров паза нагревателя или парового канала [2], тип характеристики 2;
- двумерная матрица, например, координаты расположения нагревательных элементов, тип характеристики 3;
- трехмерная матрица, например, температурное поле нагревательной плиты или конкретного нагревателя, тип характеристики 4.

Каждая характеристика имеет область допустимых значений (домен). Разновидности доменов:

- интервал, например, толщина плиты находится в интервале $[s_{min}, s_{max}]$, тип домена 1;
- вектор, например марка материала плиты, принадлежит множеству возможных марок ферромагнитных сталей, тип домена 2;
- двумерная матрица, например, свойства материалов зависят от температуры, то есть представляют собой пары: значение температуры и соответствующее значение свойства (плотность, теплоемкость, теплопроводность), тип домена 3.

На рисунке 4 представлена диаграмма реляционной базы данных, предназначенной для хранения рассмотренных выше информационных моделей. Назначение таблиц:

- «Элементы» – реестр элементов пресса (плита нагревательная, нагревательный элемент, плита теплоизоляции);

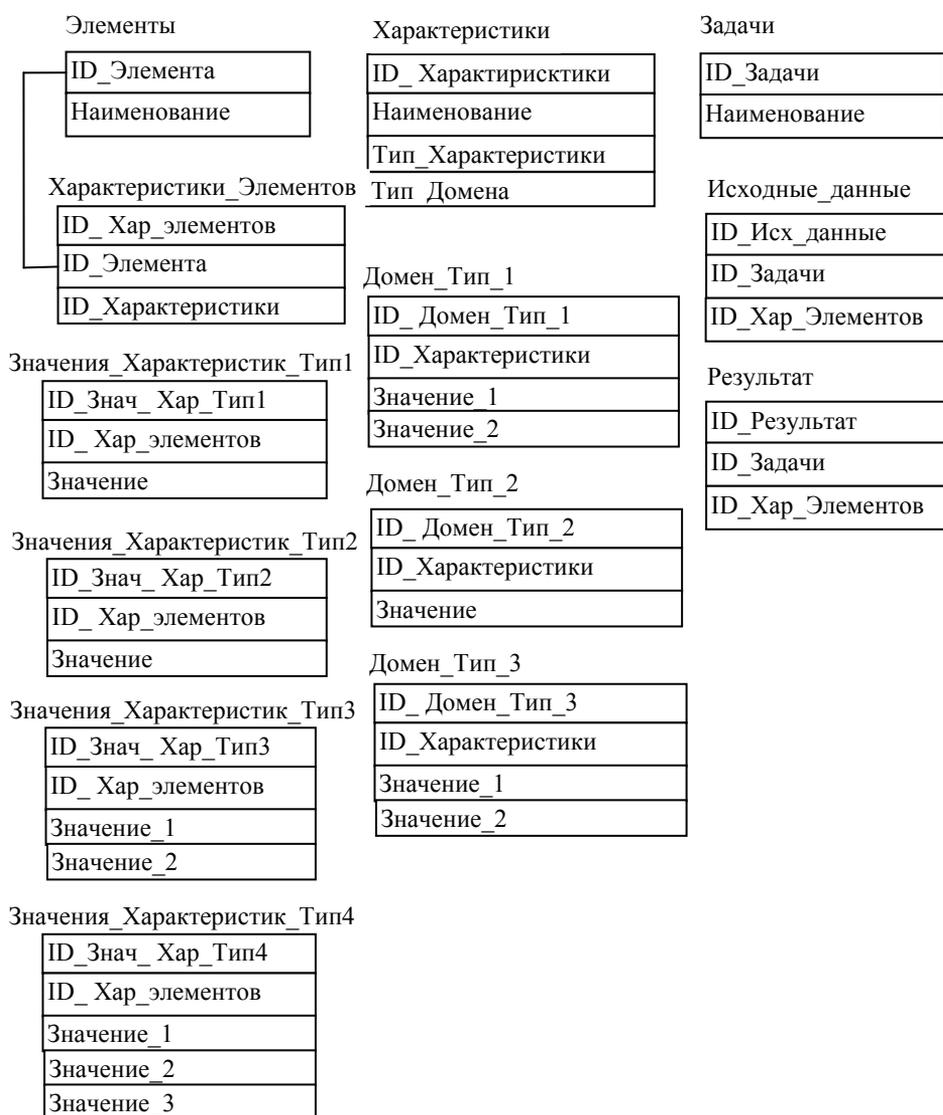


Рис. 4. Реляционная база данных для хранения информационных моделей

– «Характеристики» – реестр характеристик всех элементов пресса (марка материала нагревательной плиты, толщина нагревательной плиты, температурное поле поверхности плиты);

– «Характеристики_Элементов» – в таблице определенные характеристики привязаны к определенным элементам;

– «Значения_характеристик_Тип1», «Значения_характеристик_Тип2», «Значения_характеристик_Тип3», «Значения_характеристик_Тип4» – предназначены для хранения значений характеристик согласно перечисленным выше разновидностям;

– «Домен_Тип_1», «Домен_Тип_2», «Домен_Тип_3» – предназначены для хранения доменов характеристик различных типов;

– «Задачи» – перечень задач теплового расчета проектируемого пресса;

– «Исходные данные» – перечень характеристик, представляющих исходные данные задач;

– «Результат» – перечень характеристик, представляющих результаты решения задач.

Подобное представление информационных моделей тепловых расчетов элементов проектируемого гидравлического пресса позволило преобразовать систему информационной поддержки автоматизированного проектирования элементов прессового оборудования [5] в современную систему поддержки принятия решений, которая была использована при проектировании систем нагрева ряда промышленных прессов, выпускаемых АО «Завод Тамбовполимермаш».

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках базовой части (проект 8.7082.2017/8.9)

Список литературы

1. Карпушкин, С. В. Автоматизированное проектирование элементов прессового оборудования для изготовления резинотехнических изделий. Часть 1. Постановки задач и информационные связи между ними / С. В. Карпушкин, К. С. Корнилов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2014. – Т. 20, № 2. – С. 222 – 234.
2. Малыгин, Е. Н. Методика технологических расчетов систем нагрева прессового оборудования / Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин, К. С. Корнилов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 23, № 3. – С. 502 – 517. doi: 10.17277/vestnik.2017.03.pp.502-517
3. Карпушкин, С. В. Разработка виртуальной модели температурного поля резинотехнического изделия в процессе его обработки на вулканизационном прессе / С. В. Карпушкин, С. В. Лавров, К. С. Корнилов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 477 – 482.
4. Карпов, С. В. Оценка эффективности пресс-форм для изготовления резинотехнических изделий и системы их обогрева на вулканизационном прессе / С. В. Карпов, С. В. Карпушкин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2012. – № 3. – С. 10 – 16.
5. Карпушкин, С. В. Информационная поддержка автоматизированного проектирования элементов прессового оборудования для изготовления резинотехнических изделий / С. В. Карпушкин, С. В. Карпов, К. С. Корнилов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2013. – № 3 (151). – С. 77 – 83.

Automated Design of Press Equipment Parts. Part 2. Structure and Models of a Decision Support System

K. S. Kornilov, S. V. Karpushkin, V. G. Mokrozub

*Department of Computer-Integrated Systems in Mechanical Engineering,
karp@mail.gaps.tstu.ru; TSTU, Tambov, Russia*

Keywords: hydraulic press; thermal calculation tasks; mathematical and informational models; decision support; procedural models; relational database.

Abstract: The structure of the decision support system for the design of hydraulic presses designed for the temperature treatment of products from rubber and plastics, metals and alloys is presented. The problems of thermal calculation of press elements and information flows between them are considered.

- The problems are presented in the form of procedural models:
- determining the design of the press heating system;
 - calculating of temperature fields of products during their processing;
 - finding the temperature of the outer surfaces of the insulation.

Each of the procedural models includes a mathematical model and informational model. The relationships of mathematical models are listed. The general structure of the information model and its varieties, which are part of the listed procedural models, the structure of the relational database used as a repository of information models are presented.

References

1. Karpushkin S.V., Kornilov K.S. [Automated design of the elements of press equipment for the manufacture of rubber products. Part 1. Tasks and informational relations between them], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2014, vol. 20, no. 2, pp. 222-234. (In Russ., abstract in Eng.)

2. Malygin Ye.N., Karpushkin S.V., Kornilov K.S. [Methodology of technological calculations of heating systems for press equipment], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2017, vol. 23, no. 3, pp. 502-517, doi: 10.17277/vestnik. 2017. 03.pp.502-517 (In Russ., abstract in Eng.)

3. Karpushkin S.V., Lavrov S.V., Kornilov K.S. [Development of a virtual model of the temperature field of a rubber product in the course of its processing in a vulcanization press], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2011, vol. 17, no. 2, pp. 477-482. (In Russ., abstract in Eng.)

4. Karpov S.V., Karpushkin S.V. [Evaluation of the effectiveness of molds for the manufacture of rubber-technical products and their heating system in a vulcanization press], *Khimicheskoye i neftegazovoye mashinostroyeniye* [Chemical and oil-and-gas engineering], 2012, no. 3, pp. 10-16. (In Russ.)

5. Karpushkin S.V., Karpov S.V., Kornilov K.S. [Information support of automated design elements of press equipment for the manufacture of rubber products], *Informatsionnyye tekhnologii v proyektirovanii i proizvodstve* [Information technologies in design and production], 2013, no. 3 (151), pp. 77-83. (In Russ., abstract in Eng.)

Das automatisierte Entwerfen von Elementen der Pressenausstattung. Teil 2. Struktur und Modelle des Systems der Entscheidungsunterstützung

Zusammenfassung: Es ist die Struktur des Systems der Entscheidungsunterstützung bei der Konstruktion der hydraulischen Pressen, die für die Temperaturbehandlung von Produkten aus Gummi und Kunststoffen, Metallen und Legierungen bestimmt sind, vorgestellt. Die Aufgaben der thermischen Berechnung der Elemente der Presse und des Informationsflusses zwischen ihnen sind betrachtet.

Die Aufgaben werden in Form von Vorgehensmodellen dargestellt:

- Festlegung des Aufbaus des Systems der Pressenheizung;
- Berechnung der Temperaturfelder von Produkten während ihrer Verarbeitung;
- Bestimmung der Temperatur der äußeren Oberflächen der Wärmedämmung.

Jedes der Vorgehensmodelle enthält ein mathematisches und ein Informationsmodell. Die Verhältnisse der mathematischen Modelle sind aufgelistet.

Es sind die allgemeine Struktur des Informationsmodells und seiner Varianten, die in den aufgeführten Verfahrensmodellen enthalten sind, die Struktur der relationalen Datenbank, die als Aufbewahrungsort für Informationsmodelle verwendet wird, vorgestellt.

Conception automatisée des éléments de l'équipement de presse. 2ème partie. Structure et modèles du système du soutien à la prise des décisions

Résumé: Est présentée la structure du système d'appui de la prise des décisions lors de la conception des presses hydrauliques destinées au traitement thermique des produits en caoutchouc et plastiques, métaux et alliages. Sont examinés les tâches de calcul thermique des éléments de presse et les flux d'information entre eux.

Les tâches sont conçues sous forme de modèles procéduraux:

- définitions de la conception du système de chauffage de la presse;
- calcul des champs de température des produits pendant leur traitement;
- détermination des températures des surfaces extérieures de l'isolation thermique.

Chacun des modèles procéduraux comprend un modèle mathématique et un modèle d'information. Sont mentionnés les rapports des modèles mathématiques. Sont présentées la structure générale du modèle d'information et ses variétés faisant partie des modèles procéduraux énumérés, la structure de la base de données relationnelle utilisée comme référentiel des modèles d'information.

Авторы: *Корнилов Кирилл Сергеевич* – аспирант кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Карпушкин Сергей Викторович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Мокрозуб Владимир Григорьевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Литовка Юрий Владимирович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.