

УДК 62-932.4

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ
ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ.
ЧАСТЬ 1. ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
СВЯЗИ МЕЖДУ НИМИ**

С. В. Карпушкин, К. С. Корнилов

*Кафедра «Автоматизированное проектирование технологического
оборудования», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; karp@mail.gaps.tstu.ru*

Ключевые слова и фразы: автоматизированное проектирование; вулканизационные прессы; нагревательные плиты; пресс-формы; резинотехнические изделия.

Аннотация: Рассмотрены постановки задач автоматизированного проектирования элементов прессового оборудования: выбор материалов и определение геометрии нагревательных плит и пресс-форм, исходя из условий прочности и размеров вулканизируемых изделий; формирование температурного поля рабочей поверхности нагревательной плиты прессы согласно требованиям технического задания в условиях нестационарного нагрева; формирование поля температур в объеме вулканизируемых изделий для стационарного режима нагрева системы «плиты – пресс-формы – изделия»; выбор размеров элементов рамы прессы и силового гидроцилиндра, обеспечивающих выполнение условий прочности.

Определены информационные связи между задачами по исходным данным и результатам решения. Предложены структура и перечень функций системы информационной поддержки принятия решений при автоматизированном проектировании прессового оборудования.

Введение

Производство резинотехнических изделий (**РТИ**), согласно данным Центра развития Национального исследовательского университета – Высшей школы экономики [1], имеет устойчивую тенденцию к увеличению. В связи с этим возникает необходимость модернизации устаревшего и создания нового оборудования, выпускающего качественную продукцию с наименьшими издержками производства.

Наиболее часто РТИ изготавливаются методом горячего прессования. Для их вулканизации в металлических пресс-формах применяют, в основном, гидравлические вулканизационные прессы, оснащаемые нагревательными плитами с индукционными нагревателями. Процесс проектирования прессового оборудования включает решение следующих основных задач:

- выбор материалов и определение геометрии нагревательных плит и пресс-форм исходя из размеров вулканизируемых РТИ и выполнения условий прочности;
- формирование температурного поля рабочей поверхности нагревательной плиты прессы: определение числа, размеров, мощности и положения индукторов,

обеспечивающих получение требуемого профиля температур рабочей поверхности плиты за указанное время;

– формирование поля температур в объеме вулканизируемого изделия: определение положения пресс-форм на поверхности нагревательных плит, при котором степень неравномерности температурного поля в изделии не превышает предельно допустимой;

– определение размеров элементов рамы пресса и силового гидроцилиндра, обеспечивающих выполнение условий прочности.

Рассмотрим общие постановки задач, уделяя особое внимание исходным данным для их решения и информационным связям между задачами.

Выбор материалов и определение геометрии нагревательных плит и пресс-форм

Длина l и ширина s нагревательных плит вулканизационного пресса определяются ассортиментом РТИ, которые предполагается изготавливать, и размерами пресс-форм для этих изделий, а выбор материала $m_{\text{п}}$ и высоты плиты h – условием ее прочности.

Нагревательные плиты вулканизационных прессов при изготовлении РТИ работают при температуре около 200 °С под давлением, то есть подвержены температурным и механическим деформациям. Плиты могут быть нагружены как поперечными усилиями деформации, так и изгибающими моментами сил, причем размер, форма и число пресс-форм, помещенных между нагревательными плитами, могут меняться.

Для выполнения прочностного расчета нагревательной плиты необходимы:

– рабочая температура T_p нагревательных плит, °С;

– усилие сжатия P , Н;

– число зажимаемых пресс-форм и геометрия поверхностей их контакта с рабочей поверхностью плиты.

Постановка задачи предусматривает выбор материала и толщины нагревательной плиты, обеспечивающих неизменность геометрии плиты и качества контактной поверхности при минимальной стоимости материала

$$S_{\text{п}}(l, s, h, m_{\text{п}}) \rightarrow \min_{h, m_{\text{п}}}$$

и выполнении условия

$$\sigma_{\text{и}}^{\text{max}} = \frac{M_{\text{и}}^{\text{max}}}{W} \leq [\sigma]_{\text{и}},$$

где $S_{\text{п}}(l, s, h, m_{\text{п}})$ – стоимость материала плиты при фиксированных габаритных размерах и марке материала, р.; $M_{\text{и}}^{\text{max}}$ – максимальное значение суммарного изгибающего момента, возникающего при зажиме пресс-форм нагревательными плитами пресса, Н·м; $W = l h^2 / 6$ – момент сопротивления плиты изгибу, м³; $[\sigma]_{\text{и}}$ – допускаемое напряжение изгиба для материала плиты при температуре T_p , Па.

Методика определения значения $M_{\text{и}}^{\text{max}}$ для конкретных условий нагружения плит вулканизационного пресса изложена в работе [2].

Результатом решения задачи являются марка материала плиты и минимальное значение h , обеспечивающие выполнение условия прочности.

Пресс-формы с вулканизируемыми изделиями подвергаются температурным и механическим деформациям: они помещаются между двумя нагревательными плитами, зажимаются с усилием порядка 200 МН и выдерживаются некоторое время при температуре, близкой к T_p . При выборе типа пресс-формы для вулканизации конкретного изделия руководствуются требованиями [3].

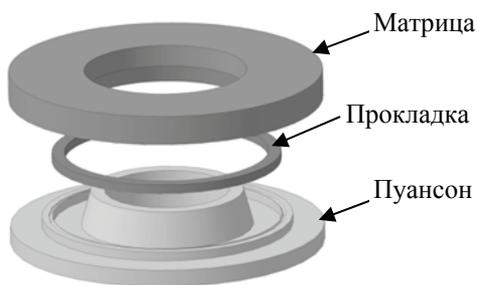


Рис. 1. Пресс-форма для изготовления резиновых прокладок

Для случая, когда основными габаритными размерами пресс-формы являются наружный R , внутренний r радиусы и высота $h_{\text{ф}}$, определяемая геометрией прессуемого РТИ (рис. 1), задача сводится к выбору материала пресс-формы и таких значений R и r , при которых обеспечивается выполнение условия прочности пресс-формы и достигается ее минимальная металлоемкость

$$S_{\text{ф}}(R, r, h_{\text{ф}}, m_{\text{ф}}) \rightarrow \min_{R, r, m_{\text{ф}}}$$

при условии (см. [2])

$$\frac{P_0(R^2 + r^2)}{R^2 - r^2} \leq [\sigma]_{\text{в}},$$

где $S_{\text{ф}}(R, r, h_{\text{ф}}, m_{\text{ф}})$ – стоимость материала пресс-формы при фиксированных габаритных размерах и марке материала, р.; P_0 – удельное давление прессования, Н/м²; $[\sigma]_{\text{в}}$ – допускаемое напряжение для материала пресс-формы, Па.

Значение P_0 для конкретной пресс-формы определяется по рабочему давлению в гидроцилиндре пресса

$$P_0 = (P_{\text{ц}} k_{\text{пр}} f_{\text{плж}}) / f_{\text{з.к}},$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэффициент полезного действия пресса; $f_{\text{плж}}$ – площадь поперечного сечения плунжера пресса, м²; $f_{\text{з.к}}$ – площадь горизонтальной проекции загрузочной камеры пресс-формы, м².

Результатом решения данной задачи являются марка материала пресс-формы, значения R и r , обеспечивающие выполнение условия прочности.

Формирование профиля температур рабочей поверхности нагревательной плиты

На промышленных предприятиях, выпускающих прессовое оборудование, эта задача традиционно считается главной в процессе проектирования вулканизационных прессов, так как от профиля температур рабочей поверхности нагревательных плит прямо зависит конфигурация поля температур в вулканизируемом изделии. Как правило, требуется определить число индукционных нагревателей, геометрические размеры и мощность каждого из них, обеспечивающие равномерное распределение температур по рабочей поверхности плиты. Пример конструкции плиты с прямоугольными индукторами представлен на рис. 2.

К числу исходных данных для решения поставленной задачи относятся:

– результаты решения задачи выбора материала и геометрии нагревательной плиты – значения $m_{\text{п}}, l, s, h$;

Целью прочностного расчета пресс-формы является выбор марки материала и определение геометрических размеров ее элементов, обеспечивающих выполнение условий прочности.

Исходными данными для прочностного расчета пресс-формы являются:

- осевая нагрузка (рабочее давление в гидроцилиндре пресса $P_{\text{ц}}$);
- рабочая температура $T_{\text{р}}$.

– продолжительность периода нагрева плиты τ_n и допустимый уровень неравномерности температурного поля ее рабочей поверхности ΔT_n по истечении этого времени;

– тип, внешний диаметр d_n (с учетом изоляции), материал и диаметр d сечения провода, используемого для намотки индукторов, допустимая глубина пазов под индукторы h_n ;

– напряжение электрической сети U и коэффициент мощности $\cos \varphi$;

– конфигурация объема материала плиты v_n , в котором происходит тепловыделение индукторов, и зависимость их удельной мощности от времени нагрева $q_n(\tau)$;

– условия теплоотвода во внешнюю среду – конструкция системы нагрева пресса, условия контакта нагревательных плит с элементами пресса и окружающим воздухом, температура воздуха T_0 .

Необходимо определить число индукторов N_n заданной формы (круглый, прямоугольный), их размеры (длина l_n и ширина s_n , или диаметр d_n), положение проекций центров индукторов на рабочую поверхность плиты X_n, Y_n , и число витков провода n_n в каждом индукторе, при которых в момент времени τ_n от начала нагрева средняя температура рабочей поверхности плиты минимально отличается от заданной T_p , а неравномерность поля температур рабочей поверхности $T_n(x, y, 0, \tau_n)$ не превосходит ΔT_n .

Обобщенную математическую постановку задачи для плиты с прямоугольными индукторами можно представить следующим образом:

$$\max_{\substack{x \in [\Delta p, l - \Delta p] \\ y \in [\Delta p, s - \Delta p]}} \{T_n(x, y, 0, \tau_n)\} - \min_{\substack{x \in [\Delta p, l - \Delta p] \\ y \in [\Delta p, s - \Delta p]}} \{T_n(x, y, 0, \tau_n)\} \rightarrow \min_{N; l_{ni}, s_{ni}, X_{ni}, Y_{ni}, n_{ni}, i = \overline{1, N_n}}$$

при условиях:

$$\left| \frac{1}{(l - 2\Delta p)(s - 2\Delta p)} \int_{\Delta p}^{s - \Delta p} \int_{\Delta p}^{l - \Delta p} T_n(x, y, 0, \tau_n) dx dy - T_p \right| < \varepsilon_n;$$

$$\max_{\substack{x \in [\Delta p, l - \Delta p] \\ y \in [\Delta p, s - \Delta p]}} \{T_n(x, y, 0, \tau_n)\} - \min_{\substack{x \in [\Delta p, l - \Delta p] \\ y \in [\Delta p, s - \Delta p]}} \{T_n(x, y, 0, \tau_n)\} \leq \Delta T_n;$$

$$T_n(x, y, z, \tau) = \Omega(T_0; N_n; v_{ni}, q_{ni}, X_{ni}, Y_{ni}, i = \overline{1, N_n}; \tau);$$

$$x \in [\Delta p, l - \Delta p], \quad y \in [\Delta p, s - \Delta p], \quad z \in [0, h];$$

$$v_{ni} = v_{ni}(U, \cos \varphi, l_{ni}, s_{ni}, h_{ni}, n_{ni}, d_{ni}), \quad i = \overline{1, N_n};$$

$$q_{ni} = q_{ni}(U, \cos \varphi, l_{ni}, s_{ni}, n_{ni}, \tau), \quad i = \overline{1, N_n};$$

где Δp – расстояние от края плиты до границы ее рабочей поверхности (~ 25 мм); ε_n – допустимое отклонение средней температуры плиты от T_p , °C.

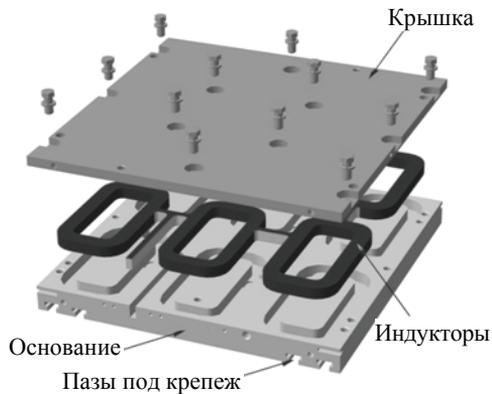


Рис. 2. Конструкция нагревательной плиты с прямоугольными индукторами

Функция Ω представляет собой дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности с начальным условием $T(x, y, z, 0) = T_0$ и граничными условиями, форма которых определяется условиями теплоотвода в окружающую среду [4]. Рекомендации по решению этого уравнения методом конечных интегральных преобразований и методом конечных элементов даны в [5]. При использовании метода конечных интегральных преобразований возникает проблема выбора и обоснования величины шага по времени нагрева плиты, обеспечивающего приемлемую точность и продолжительность расчетов [6].

Значения v_{ii} , q_{ii} – объем, в котором осуществляется тепловыделение от работы i -го индуктора и удельная мощность этого тепловыделения соответственно. Для их определения необходим электромагнитный анализ – решение уравнения Максвелла для фиксированного числа и параметров индукторов, причем для каждого момента времени необходимо вначале рассчитывать удельную мощность индукторов, а затем – температурное поле плиты [5].

Если электромагнитный анализ невозможен по причине дефицита времени или вычислительных ресурсов, отсутствия данных о зависимости магнитной проницаемости материала плиты от температуры, информацию об изменении мощности индукторов в процессе нагрева можно получить на основе экспериментальных данных [4] и, приняв допущение о конфигурации объема, в котором осуществляется тепловыделение, рассчитать его удельную мощность.

Результатом решения этой задачи является число индукторов, мощность и местоположение каждого из них в объеме плиты, а также температурное поле плиты. Один из возможных подходов к ее решению предложен в работе [7].

Формирование поля температур в объеме вулканизируемого изделия

Качество РТИ во многом определяется равномерностью температурного поля в объеме изделия. Поэтому необходимо определить положение пресс-форм, обеспечивающее заданное распределение температур в резинотехнических изделиях при фиксированном профиле температур рабочей поверхности нагревательной плиты. Заметим, что дополнительные конструктивные элементы пресс-форм (ручки для переноса, литейные каналы, отверстия под крепежные элементы, установочные пазы, фаски и т.д.), как правило, снижают степень равномерности температурных полей в вулканизируемых изделиях, однако необходимы при производстве [8].

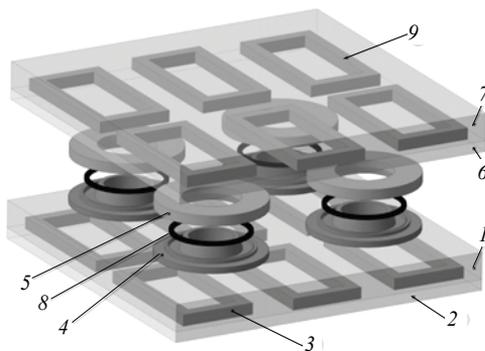


Рис. 3. Геометрическая модель системы «плиты – пресс-формы – РТИ»:

1, 7 – основания плит; 2, 6 – крышки плит;
3, 9 – индукторы; 4, 5 – матрица и пуансон
пресс-формы; 8 – РТИ (прокладка)

К исходной информации для решения этой задачи относятся:

- состав (марка) исходной резиновой смеси m_p ;
- температура окружающего воздуха T_0 , начальная температура смеси T_n и температура вулканизации изделия T_v ;

- допустимый уровень неравномерности температурного поля в изделии ΔT_p ;

- результаты решения задачи выбора материала и геометрии пресс-формы – комплекс геометрических размеров G_ϕ и материал m_ϕ пресс-форм используемого типа.

Задачу предлагается решать для стационарного режима нагрева системы «плиты – пресс-формы – изделия» (рис. 3) в условиях теплообмена с окружающим воздухом, то есть находить температурное поле изделия, которое характеризуется максимально возможной степенью равномерности. В реальных (производственных) условиях имеют место нестационарные режимы нагрева пресс-форм, при которых градиенты температур в изделиях всегда будут больше, чем для стационарного режима, [9], поэтому предлагаемый подход, с одной стороны, позволяет существенно уменьшить объем расчетов, а с другой, – обоснованно выбирать конструкцию пресс-формы и режим работы системы обогрева пресса.

Представим обобщенную математическую формулировку задачи для системы, состоящей из N_{Π} нагревательных плит, N_{Φ} пресс-форм и N_p изделий

$$\max_{k=1, N_p} \left\{ \max_{x, y, z \in V_{pk}} \{T_{pk}(x, y, z)\} - \min_{x, y, z \in V_{pk}} \{T_{pk}(x, y, z)\} \right\} \rightarrow \min_{X_{\Phi j}, Y_{\Phi j}, j=1, N_{\Phi}}$$

при условиях:

$$\max_{x, y, z \in V_{pk}} \{T_{pk}(x, y, z)\} - \min_{x, y, z \in V_{pk}} \{T_{pk}(x, y, z)\} \leq \Delta T_p, k = \overline{1, N_p};$$

$$\left| \frac{1}{V_{pk}} \iiint_{V_{pk}} T_{pk}(x, y, z) - T_B \right| < \varepsilon_p, k = \overline{1, N_p};$$

$$T_{pk}(x, y, z) = \Theta(T_0, T_B; T_{\Pi p}(x, y, 0), p = \overline{1, N_{\Pi}}; G_{\Phi}; X_{\Phi j}, Y_{\Phi j}, C_{\Phi j}, j \in (1, \dots, N_{\Phi}); C_{pk}), k = \overline{1, N_p},$$

где V_{pk} – комплекс граничных значений координат объема k -го изделия; $T_{pk}(x, y, z)$ – стационарное температурное поле k -го изделия; $X_{\Phi j}, Y_{\Phi j}$ – положение центра проекции j -й пресс-формы на рабочую поверхность плиты; V_{pk} – объем k -го изделия; ε_p – заданная точность совпадения T_B со средней температурой изделия.

Функция Θ представляет собой систему дифференциальных уравнений стационарной теплопроводности для всех пресс-форм и изделий при заданном профиле температур нагревательных плит $T_{\Pi p}(x, y, 0), p = \overline{1, N_{\Pi}}$ с граничными условиями, характеризующими равенство температур и тепловых потоков на границах между плитами и пресс-формами $C_{\Phi j}, j \in (1, \dots, N_{\Phi})$, пресс-формами и изделиями $C_{pk}, k = \overline{1, N_p}$. Подробное представление функции Θ , методика определения поля температур в вулканизируемом изделии показаны в [10].

Результатами решения данной задачи являются значения $X_{\Phi j}, Y_{\Phi j}$ для всех пресс-форм и поля температур в вулканизируемых изделиях.

Определение размеров элементов рамы пресса и силового гидроцилиндра

Рама пресса представляет собой стальной замкнутый контур, воспринимающий пульсирующее толкающее усилие гидроцилиндра через технологические и нагревательные плиты. Под действием этого усилия продольные части стоек рамы работают на растяжение и продольный изгиб, а поперечные – на поперечный изгиб.

Для предотвращения температурных напряжений в опорных частях рамы пресса между ними и нагревательными плитами устанавливаются теплоизоляционные прокладки, например, на предприятии ЗАО «Завод Тамбовполимермаш» – плиты толщиной 50 мм из материала АЦЭИД 500 [11].

Целью расчета является выбор материала рамы пресса и определение геометрических размеров ее опасных сечений при заданном осевом толкающем усилии и средней температуре рамы (с запасом – при рабочей температуре нагревательных плит T_p).

Исходные данные:

- основные геометрические размеры рамы;
- осевое толкающее усилие P .

Методика прочностного расчета рамы вулканизационного гидравлического пресса [12] предусматривает проверку выполнения условий:

$$\sigma_i = \frac{M_i |C_i|}{J_i} < [\sigma]_p, \quad i = 1, \dots, Os,$$

где i – порядковый номер опасного сечения рамы; σ_i – напряжение изгиба в i -м опасном сечении, Па; M_i – крутящий момент в i -м опасном сечении, Н·м; C_i – ордината центра тяжести i -го опасного сечения, м; J_i – момент инерции i -го опасного сечения относительно оси, проходящей через центр его тяжести, м³; $[\sigma]_p$ – допускаемое напряжение изгиба для материала рамы, Па; Os – число опасных сечений.

Задача расчета рамы пресса на прочность сводится к определению геометрических размеров элементов рамы, при которых выполняются условия ее прочности и достигается минимальная металлоемкость.

Силовой гидроцилиндр является наиболее нагруженным и ответственным узлом вулканизационного пресса. Целью его расчета является выбор материала $m_{ц}$, внутреннего R_B и внешнего R_H радиусов цилиндрической части, толщины днища h_d , фланца h_f и высоты катета сварного шва днища h_k .

Цилиндры гидравлических прессов рассчитываются как толстостенные сосуды, так как отношение наружного диаметра к внутреннему превосходит 1,5. Методика расчета [2] предусматривает:

- расчет эквивалентного напряжения в стенках гидроцилиндра и его сравнение с допускаемым напряжением на растяжение для материала корпуса;
- расчет суммарного напряжения в днище, цилиндрической части корпуса вблизи днища, вблизи верхнего фланца и их сравнение с допускаемым напряжением при пульсирующей нагрузке для материала корпуса.

Исходные данные:

- геометрия гидроцилиндра (наружный диаметр, высота, форма и размеры толкателя);
- давление внутри гидроцилиндра $P_{ц}$;
- необходимый запас прочности.

Условие прочности стенки гидроцилиндра:

$$\sigma_{эkv} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_r - \sigma_t)^2 + (\sigma_t - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2]} < [\sigma]_{ц},$$

где $\sigma_r = \frac{PR_B^2}{R_H^2 - R_B^2} \left(1 - \frac{R_H^2}{R_B^2}\right)$, $\sigma_t = \frac{PR_B^2}{R_H^2 - R_B^2} \left(1 + \frac{R_H^2}{R_B^2}\right)$, $\sigma_z = \frac{PR_B^2}{R_H^2 - R_B^2}$ – радиальное,

тангенциальное и осевое напряжения, возникающие в стенке цилиндра под действием внутреннего давления соответственно, Па; $[\sigma]_{ц}$ – допускаемое напряжение растяжения для материала цилиндра, Па.

Условие прочности днища гидроцилиндра

$$\sigma_d^c + \sigma_d^H < [\sigma]_{ц,и};$$

цилиндрической части корпуса гидроцилиндра вблизи днища

$$\sigma_{\text{ц}}^{\text{д}} + \varphi \sigma_z < [\sigma]_{\text{ц.и}};$$

вблизи фланца

$$K(\sigma_{\text{ц}}^{\text{ф}} + \sigma_z) < [\sigma]_{\text{п}},$$

где $\sigma_{\text{д}}^{\text{с}} = 6 \frac{|M_2|}{h_{\text{д}}^2}$ – напряжение изгиба в днище корпуса вблизи стенки, Па; M_2 –

изгибающий момент днища корпуса вблизи стенки, Н·м;

$\sigma_{\text{д}}^{\text{ц}} = \frac{6}{h_{\text{д}}^2} \left(\frac{3+\mu}{16} PR^2 - M_2 \right)$ – напряжение изгиба в центре днища корпуса, Па;

$\mu \sim 0,3$ – коэффициент Пуассона; $R = 0,5(R_{\text{н}} + R_{\text{в}})$ – средний радиус корпуса гидроцилиндра, м; $[\sigma]_{\text{ц.и}}$ – допускаемое напряжение материала цилиндра на изгиб,

Па; $\sigma_{\text{ц}}^{\text{д}} = 6 \frac{|M_1|}{(R_{\text{н}} - R_{\text{в}})^2}$ – напряжение изгиба цилиндрической части корпуса в зоне

сопряжения с днищем, Па; $\varphi \sim 0,8$ – коэффициент прочности сварного шва; M_1 – изгибающий момент цилиндрической части корпуса в зоне сопряжения с днищем, Н·м; $K \sim 1,3$ – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения на-

грузки на фланец корпуса гидроцилиндра со стороны рамы пресса; $\sigma_{\text{ц}}^{\text{ф}} = 6 \frac{|M_0|}{R_{\text{н}} - R_{\text{в}}}$ –

напряжение изгиба в верхней части цилиндрической части корпуса вблизи перехода во фланец, Па; M_0 – изгибающий момент в цилиндрической части корпуса вблизи перехода во фланец, Н·м; $[\sigma]_{\text{п}}$ – допускаемое напряжение материала цилиндра на изгиб при пульсирующей нагрузке, Па.

Расчет на прочность сварных швов гидроцилиндра сводится к проверке выполнения условий [2]:

$$\sigma_{\text{к}} = \frac{P_{\text{ц}} R_{\text{в}}^2}{R_{\text{н}}^2 - (R_{\text{в}} + l)^2} < [\sigma]_{\text{ш}};$$

$$\tau_{\text{ф}} = \frac{P}{2\pi R_{\text{н}} (h_{\text{ф}} - l)} \leq [\tau];$$

$$\tau_{\text{д}} = \frac{R_{\text{в}}^2 P_{\text{ц}}}{1,4 R_{\text{н}} h_{\text{к}}} \leq [\tau],$$

где $\sigma_{\text{к}}$ – напряжение в сварном шве корпуса гидроцилиндра, Па; $l \sim 5$ мм – ширина полоски сопряжения свариваемых деталей; $[\sigma]_{\text{ш}}$ – допускаемое напряжение растяжения в сварном шве, Па; $[\tau] = 0,65 [\sigma]_{\text{р}}$ – допускаемое напряжение кручения в сварном шве, Па.

Задача расчета силового гидроцилиндра вулканизационного пресса сводится к определению значений $R_{\text{н}}$, $R_{\text{в}}$, $h_{\text{д}}$, $h_{\text{ф}}$ и $h_{\text{к}}$, обеспечивающих минимальную металлоемкость гидроцилиндра при выполнении всех условий прочности.

Расчет гидроцилиндра обычно дополняют прочностным расчетом стола пресса. Этот расчет сводится к выбору минимальной высоты стола, обеспечивающей выполнение условий [2],

$$\sigma_j = \frac{M_j}{W_j} < [\sigma], \quad j = \text{I, II},$$

где I, II – продольное и диагональное сечения стола; M_j – крутящий момент в j -м сечении, Н·м; W_j – момент сопротивления j -го сечения, м³; σ_j – напряжение в j -м сечении, Па; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение материала стола на изгиб, Па.

Очевидно, что для решения задач проектирования прессового оборудования необходимо большое количество разнородной информации:

– данные технического задания на проектирование (значения T_p , P , $P_{ц}$, τ_n , ΔT_p , ϵ_p , U , $\cos \varphi$, T_b , ΔT_p , ϵ_i и T_0 ; условия теплоотвода от плит и пресс-форм во внешнюю среду и др.);

– справочные данные – свойства материалов плит, пресс-форм и проводов индукторов (плотность, теплоемкость, теплопроводность, магнитная проницаемость, удельное электросопротивление, допускаемые напряжения), свойства резиновых смесей (состав, плотность, теплоемкость, теплопроводность);

– результаты решения предшествующих задач, например, размеры нагревательной плиты для задачи формирования температурного поля ее рабочей поверхности, число, размеры и мощности индукторов нагревательных плит для задачи формирования поля температур в РТИ.

Кроме того, применение систем конечно-элементного анализа требует формирования объемных геометрических моделей (3D-моделей) плит, индукторов, пресс-форм и РТИ (см. рис. 3), выбора типов и плотности сетки конечных элементов для различных объектов. Заметим, что 3D-модели нагревательных плит и пресс-форм являются как исходными данными, так и результатами решения задач формирования температурных полей в плитах и РТИ, следовательно, они должны быть параметризованы.

Таким образом, автоматизация процесса проектирования требует создания системы информационной поддержки принятия решений для подготовки, хранения и представления исходных данных и результатов решения задач проектирования прессового оборудования. Остановимся подробнее на структуре и функциях этой системы.

Информационная поддержка принятия решений при проектировании прессового оборудования

Основными функциями системы информационной поддержки являются:

1) автоматизация подготовки и ввода данных для решения конкретной задачи, в том числе и результатов решения предшествующих задач;

2) сбор, хранение и предоставление справочной информации;

3) формирование и хранение параметризованных 3D-моделей и чертежей плит, индукторов, пресс-форм и РТИ;

4) представление результатов решения задач в форме, удобной для анализа;

5) формирование конечных документов, пригодных для использования в проектной документации;

6) хранение исходных данных и результатов выполненных проектов.

Реализация этих функций осуществляется с помощью следующих компонентов системы (рис. 4):

– управляющий модуль;

– модуль ввода данных технического задания;

– база справочных данных о материалах плит и проводов, используемых для намотки индукторов, пресс-форм, а также резиновых смесях, используемых в качестве исходного сырья для изготовления РТИ;

– база характеристик, сборочных чертежей, 3D-моделей нагревательных плит и результатов расчета их температурных полей;

– база характеристик и сборочных чертежей индукторов;

– база характеристик, сборочных чертежей, 3D-моделей пресс-форм с РТИ и результатов расчета температурных полей в РТИ;

– архив выполненных проектов.

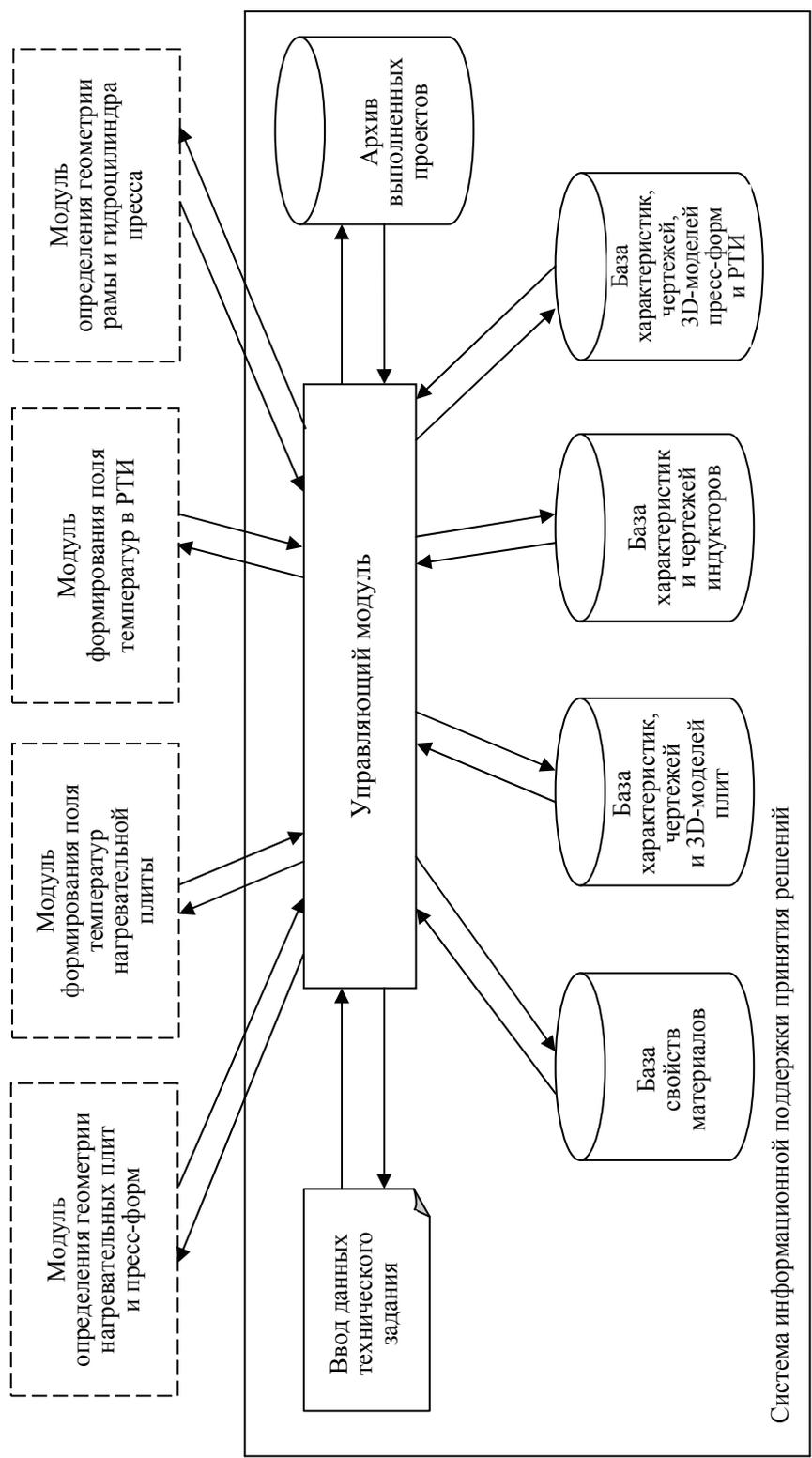


Рис. 4. Структура системы информационной поддержки принятия решений при проектировании прессового оборудования

Основным структурным элементом системы является управляющий модуль, предназначенный для выполнения следующих операций:

- управление базами данных (поиск необходимой информации, пополнение и корректировка);
- подготовка исходных данных для работы модулей решения задач с использованием данных технического задания, справочной и архивной информации;
- формирование 3D-моделей и сборочных чертежей нагревательных плит с индукторами, пресс-форм с РТИ на основе результатов решения задач формирования температурных полей;
- сохранение исходных данных и результатов выполнения проектов в архиве;
- формирование и печать протоколов решения задач для включения в проектную документацию.

Разработка и внедрение системы информационной поддержки принятия решений при проектировании прессового оборудования в комплексе с модулями решения задач проектирования позволит существенно сократить сроки получения проектных решений и повысить их качество.

Список литературы

1. Индексы интенсивности промышленного производства [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.dcenter.ru/iipp/2010-11/text.pdf> (дата обращения: 27.05.2014).
2. Басов, Н. И. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов / Н. И. Басов, Ю. В. Казанков, В. А. Любатович. – М. : Химия, 1986. – 488 с.
3. ГОСТ 14901–93. Пресс-формы для изготовления резинотехнических изделий. Общие технические условия. – Введ. 1995-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 2005. – 16 с.
4. Малыгин, Е. Н. Методика теплового расчета нагревательных плит прессов для изготовления резинотехнических изделий / Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин, А. С. Крушати // Хим. пром-сть сегодня. – 2009. – № 11. – С. 48 – 56.
5. Глебов, А. О. Сравнение методик моделирования температурных полей индукционных нагревательных плит / А. О. Глебов, С. В. Карпов, С. В. Карпушкин // Автоматизация в пром-сти. – 2012. – № 7. – С. 23 – 28.
6. Karpushkin, S. V. Modeling of Induction Heating Devices in Example of Induction Heating Platens of Vulcanization Presses / S. V. Karpushkin, S. V. Karpov, A. O. Glebov // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 17, № 1. – С. 110 – 120.
7. Глебов, А. О. Методика оптимизации режимных и конструктивных характеристик нагревательной плиты вулканизационного пресса / А. О. Глебов, С. В. Карпов, С. В. Карпушкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 137 – 151.
8. Карпов, С. В. Оценка эффективности пресс-форм для изготовления резинотехнических изделий и системы их обогрева на вулканизационном прессе / С. В. Карпов, С. В. Карпушкин // Хим. и нефтегазовое машиностроение. – 2012. – № 3. – С. 10 – 16.
9. 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.
10. Малыгин, Е. Н. Моделирование и расчет процессов индукционного нагрева прессового оборудования при производстве резинотехнических изделий / Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин, С. В. Карпов // Наука и образование : электрон. науч.-техн. изд. – 2013. – № 3. – С. 85 – 104.
11. ГОСТ 4248–92. Доски асбестоцементные электротехнические дугостойкие. Технические условия. – Введ. 1993-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 2002. – 8 с.

12. Методика проектного расчета рам гидравлических вулканизационных прессов для производства резино- и асбестотехнических изделий / ЗАО «Завод Тамбовполимермаш». – 2008. – 17 с.

**Automated Design of Elements
for Pressing Equipment to Manufacture Rubber Goods.
Part 1. Statement of the Problems and Information Relations between them**

S. V. Karpushkin, K. S. Kornilov

Department “Automated design of process equipment”, TSTU; karp@mail.gaps.tstu.ru

Key words and phrases: computer-aided design; heating plates; molds; rubber products; vulcanizing presses.

Abstract: The article considers formulations of the CAD problems for press equipment elements: the choice of materials and geometry definition of heating plates and molds, based on the terms of strength and size of vulcanized products; temperature field formation for work surface of heating press plates according to the requirements of technical specifications in conditions of non-stationary heating; the formation of the temperature field in the volume of curable products for the stationary heating of system “plates-molds-products”; elements of the press frame and the power cylinder sizing to ensure that the conditions of strength. Information relations between tasks are defined by the initial data and the results of decisions. The structure and a functions' list of the information support system for computer-aided design of press equipment is proposed.

References

1. <http://www.dcenter.ru/iipp/2010-11/text.pdf> (accessed 27 May 2014).
2. Basov N.I., Kazankov Yu.V., Lyubartovich V.A. *Raschet i konstruirovaniye oborudovaniya dlya proizvodstva i pererabotki polimernykh materialov* (Calculation and design of equipment for the production and processing of polymeric materials), Moscow: Khimiya, 1986, 488 p.
3. Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification (ISC), *GOST 14901-93: Press-formy dlya izgotovleniya rezinotekhnicheskikh izdelii. Obshchie tekhnicheskie usloviya* (Russian Interstate Standards 14901-93: Press-moulds for manufacture of industrial rubber articles. General specifications), Moscow: Izdatel'stvo standartov, 2005, 16 p.
4. Malygin E.N., Karpushkin S.V., Krushatin A.S. *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya*, 2009, no. 11, pp. 48-56.
5. Glebov A.O., Karpov S.V., Karpushkin S.V. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*, 2012, no. 7, pp. 23-28.
6. Karpushkin S.V., Karpov S.V., Glebov A.O. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2011, vol. 17, no. 1, pp. 110-120.
7. Glebov A.O., Karpov S.V., Karpushkin S.V. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2013, vol. 19, no. 1, pp. 137-151.
8. Karpov S.V., Karpushkin S.V. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2012, no. 3, pp. 10-16.
9. Karpushkin S.V., Lavrov S.V., Kornilov K.S. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2011, vol. 17, no. 2, pp. 477-482.
10. Malygin E.N., Karpushkin S.V., Karpov S.V. *Science and Education*, 2013, no. 3, pp. 85-104.
11. Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification (ISC), *GOST 4248-92: Doski asbestotsementnye elektrotekhnicheskie dugostoikiye*.

Tekhnicheskie usloviya (Russian Interstate Standards 4248-92: Asbestos cement non-arcing boards for electrical purposes. Specifications), Moscow: Izdatel'stvo standartov, 2002, 8 p.

12. JSC "Plant Tambovpolimer mash", *Metodika proektnogo rascheta ram gidravlicheskih vulkanizacionnykh pressov dlya proizvodstva rezino- i asbestotekhnicheskikh izdelii* (Design calculation methodology frames hydraulic vulcanizing presses for the production of rubber and asbestos products), 2008, 17 p.

Автоматизированная проектировка элементов прессового оборудования для изготовления резино-технических изделий.

Часть 1. Постановка задач и информативные связи между ними

Заклучение: В статье рассматриваются задачи постановки автоматизированной проектировки элементов прессового оборудования: выбор материалов и определение геометрии нагревательных плит и пресс-форм, исходя из условий надежности и объемов производства изделий; формирование температурного поля рабочей поверхности нагревательной плиты в соответствии с требованиями технических заданий под условиями нестационарного нагрева; формирование температурного поля изделий для стационарного режима нагрева системы «плиты – пресс-формы – изделия»; выбор объемов элементов рамы пресса и силового гидроцилиндра, обеспечивающих выполнение условий надежности.

Определяются информативные связи между задачами по выходным данным и результатам решения. Определяется структура и перечень функций системы информативной поддержки принятия решений при автоматизированной проектировке прессового оборудования.

Conception automatisée des éléments de l'équipement de presse pour la fabrication des articles de caoutchouc.

Part 1. Mise de problèmes et liens informatiques entre eux

Résumé: Dans l'article est examiné la mise du problème de la conception automatisée des éléments de l'équipement de presse: choix des matériaux et définition de la géométrie des plaques de chauffage et de formes de presse compte tenu de la solidité et des dimensions des articles vulcanisés; formation du champs de température de la surface de travail de la plaque de chauffage de la presse; formation du champs de températures dans le volume des articles vulcanisés pour le régime stationnaire du système «plaque – presse – forme – article»; choix des dimensions des éléments du bâti de la presse et du cylindre assurant l'exécution des conditions de la solidité.

Sont déterminés les liens informatiques entre les tâches suivant les données initiales et résultats de la solution. Est proposée la structure ainsi que la liste des tâches lors de la conception automatisée de l'équipement de presse.

Авторы: *Карпушкин Сергей Викторович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»; *Корнилов Кирилл Сергеевич* – аспирант кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Подольский Владимир Ефимович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений», директор Тамбовского областного центра новых информационных технологий, ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
