

УДК 681.3.053

С.Н. Ларин, М.М. Чернова, Е.Ю. Пузакина

ПРОЦЕДУРНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ

Ларин Сергей Николаевич, кандидат технических наук, окончил самолетостроительный факультет Ульяновского государственного технического университета. Начальник комплексного технологического отдела ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Имеет публикации в области автоматизации технологических процессов. [e-mail: larinmars@rambler.ru].

Чернова Мария Михайловна, студент 5-го курса Ульяновского государственного технического университета. Техник комплексного технологического отдела ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Имеет публикации в области автоматизации процессов управления. [e-mail: M.20.08@yandex.ru].

Пузакина Елена Юрьевна, студент 5-го курса Ульяновского государственного технического университета. Техник комплексного технологического отдела ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Имеет публикации в области автоматизации процессов управления. [e-mail: Puzakina@yandex.ru].

Аннотация

В статье предлагается и описывается комплекс моделей процесса проектирования средств технологического оснащения (СТО). Важным достоинством разработанных процедурных моделей является автоматизация процесса создания конструкторской и технологической документации, плановых заданий и взаимообмена информацией (директивными, справочно-отчетными документами) между конструкторскими, технологическими службами.

Ключевые слова: поисковое конструирование, типовое конструирование, модель, средства технологического оснащения, технологические расчеты.

Sergey Nikolaevich Larin, Candidate of Engineering; graduated from the Faculty of Aircraft Construction of Ulyanovsk State Technical University; head of the complex production-engineering department at Federal Research-and-Production Center 'Research-and-Production Association 'Mars'; author of publications in the field of computer-aided production-engineering processes. e-mail: larinmars@rambler.ru.

Maria Mikhailovna Chernova, five-year student at Ulyanovsk State Technical University; technician of the complex production-engineering department at Federal Research-and-Production Center 'Research-and-Production Association 'Mars'; author of publications in the field of computer-aided control processes. e-mail: M.20.08@yandex.ru.

Elena Yuryevna Puzakina, five-year student at Ulyanovsk State Technical University; technician of the complex production-engineering department at Federal Research-and-Production Center 'Research-and-Production Association 'Mars'; author of publications in the field of computer-aided control processes. e-mail: Puzakina@yandex.ru.

Abstract

The article gives and describes a system of models for process of technique design. The automation of process of creation of design and production-engineering documents, plan target and data (guidelines, reference and report documents) exchange among design and production-engineering services is an important advantage of the developed procedure models.

Key words: search engineering, model engineering, model, techniques, production-engineering calculations.

Проведенные исследования [1, 2, 3] показали, что существуют два основных направления конструирования средств технологического оснащения: поисковое и типовое. Результатом поискового конструирования является оригинальная конструкция, претендующая на получение патента. Результат типового конструирования - технический объект, собранный из типовых элементов. Автоматизации процесса поискового конструирования посвящен ряд работ [1, 4]. Для автоматизации типового конструи-

рования имеется множество систем автоматизированного проектирования (SolidWorks, «Компас»), позволяющих получать конструкторскую и технологическую документацию. Разработчики известных программных продуктов постоянно совершенствуют свою продукцию, добавляя новые возможности (3D-моделирование, параметризация графических объектов, библиотеки типовых объектов и т. д.). Несмотря на это, в известных САПР в настоящее время отсутствует возможность получения технической

документации автоматически или с минимальным участием человека, хотя предпосылки для этого существуют, особенно в типовом конструировании.

Методология разработки прикладных автоматизированных систем на базе промышленного способа их создания включает:

- процесс разработки, состоящий из определенного набора этапов;
- методики выполнения этапов;
- средства представления исходной и результирующей информации каждого этапа.

Концептуальное моделирование предметных задач позволяет объективировать (выявлять) систему знаний выделенной предметной области и фиксировать ее в определенной форме. Концептуальное моделирование в соответствии с методологией промышленного создания САПР осуществляется на трех уровнях абстрагирования: абстрактном, обеспечивающем общее представление систем знаний; объектном, обеспечивающем представление специфики систем знаний предметных областей; конкретном, описывающем множество конкретных фактов, событий, явлений реального мира в процессе решения прикладных задач. При этом концептуальная модель любого уровня включает: множество элементов (категорий); множество структурных связей на этих элементах; множество ограничений на связи и элементы. Под категорией понимается обобщенный термин для понятий разных уровней абстрагирования [1].

Представление концептуальных моделей включает в себя две части: универсальное концептуальное представление и концептуальные представления предметных задач. Универсальное концептуальное представление определяет общее строение системы знаний на разных уровнях абстрагирования, а концептуальные представления предметных задач определяют строение системы знаний для конкретных предметных областей. Вариант концептуальной модели представлен в виде структуры технологического объекта (рис. 1).

Сложность и многообразие задач, возникающих при проектировании, обусловили и многостадийность этого процесса. При разработке конструкций средств технологиче-

ского оснащения (рис. 2) основной задачей является выбор типов оснастки для каждой стадии технологического процесса. Выбор каждого вида СТО (на примере литьевых пресс-форм) сопровождается проведением ряда расчетов.

К технологическому проектированию относится разработка следующих частей проекта: 1) собственно технологической; 2) монтажно-технологической; 3) контроля; 4) организации труда; 5) технико-экономической.

К проектно-конструкторским разработкам относятся: 1) конструирование оборудования; 2) проектирование металлоконструкций для обслуживания оборудования;

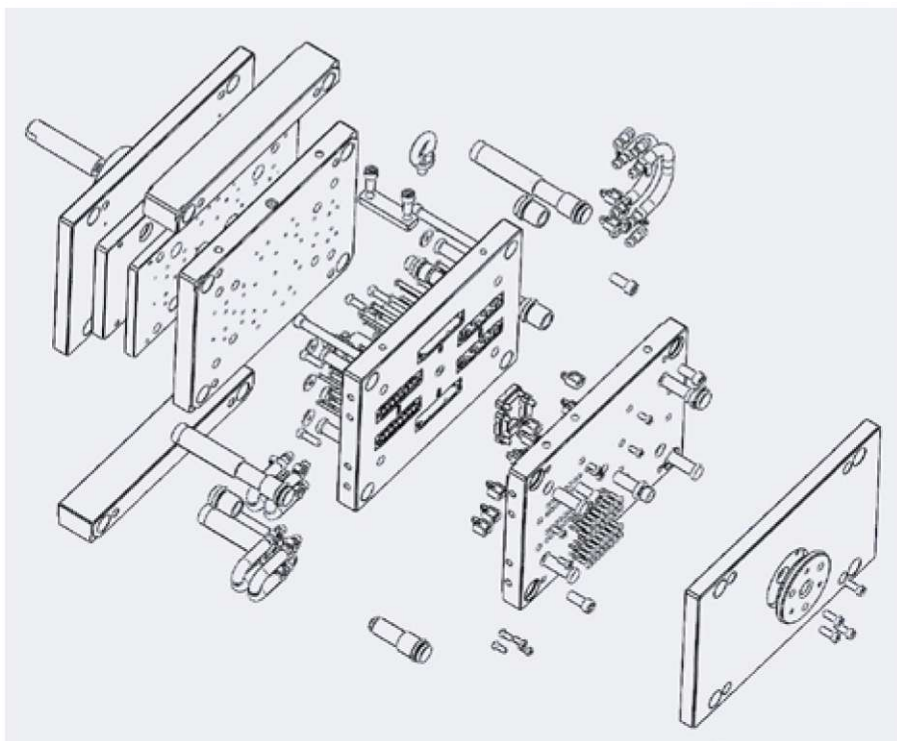


Рис. 1. Представление структуры технологического объекта

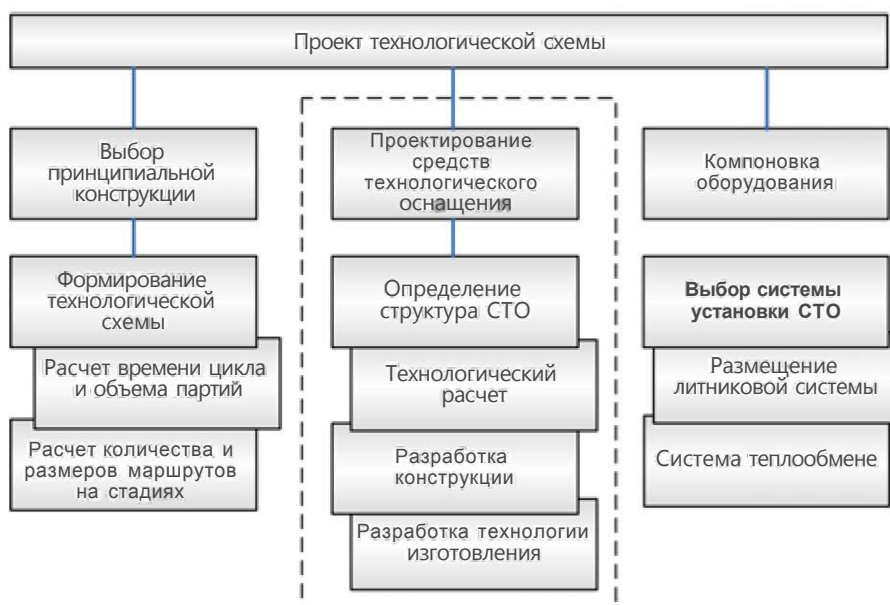


Рис. 2. Структурная схема проектирования средств технологического оснащения

3) подтверждение возможности использования стандартного оборудования, материалов и комплектаций.

Общая последовательность проектирования средств технологического оснащения выглядит следующим образом [1]:

1. Определение структуры (концептуальное проектирование). На данном этапе определяется: во-первых, тип проектируемых СТО; во-вторых, из каких основных узлов и деталей они будут состоять.

2. Технологические расчеты. Осуществляются различные материальные, тепловые расчеты, в результате которых определяются основные размеры проектируемых СТО.

3. Разработка конструкции. На этапе разработки конструкции производятся предварительные и поверочные расчёты, разрабатываются сборочный чертёж СТО и чертежи узлов и деталей, а также другая конструкторская документация. В результате получается готовый конструкторский проект.

4. Разработка технологии изготовления. Когда конструкция СТО определена, приступают к разработке технологических маршрутов изготовления деталей и сборки узлов и СТО в целом.

5. Внесение изменений.

Средства технологического оснащения представляют собой систему, состоящую из элементов и связей между ними, $СТО = \langle Э, С \rangle$.

Элементы, из которых состоит технологическое оборудование, могут быть:

- функциональными, несущими технологическое назначение, $З^e = \{э^e\}$, например, пуансон, матрица;
- соединительными, служащими для связи основных элементов друг с другом, $З^c = \{э^c\}$. Такими элементами являются направляющие, фланцевые соединения, болты и т.д.

Конструкцию технологического объекта можно представить в виде графа $\theta^e = (З^e, З^c)$, в узлах которого находятся функциональные элементы $э^e$, а связями служат соединительные $э^c$ (рис. 3).

Множество всех элементов СТО является объединением множества функциональных и соединительных элементов $З = З^e$ и $З^c$.

Сложные элементы могут иметь как простую структуру, так и сложную структуру элементов.

Сложную структуру элементов также можно представить в виде графов нижних уровней иерархии.

Выделим два вида связей между элементами С:

1) связи позиционирования С- параллельность осей, совпадение поверхностей и т. д. Связи С однозначно определяют взаимное расположение элементов друг относительно друга, например, при позиционировании плиты шпинделя, плиты толкателя, матрицы подвижной ось плиты крепления должна совпадать с осью втулки центрирующей;

2) связи $С^f$, определяющие зависимость значений свойств элементов друг от друга, например, плита толкателя должна быть равна подвижной матрице.

Процесс проектирования технологического оборудования состоит из следующих основных этапов [1]:

- определение структуры (концептуальное проектирование);
- технологические расчёты;
- разработка конструкции;
- разработка технологии изготовления;
- внесение изменений.

Исходными данными для проектирования технологической оснастки является техническое задание (**ТЗ**), в котором отражены функции, условия взаимодействия с окружающей и рабочей средой, ограничения на параметры:

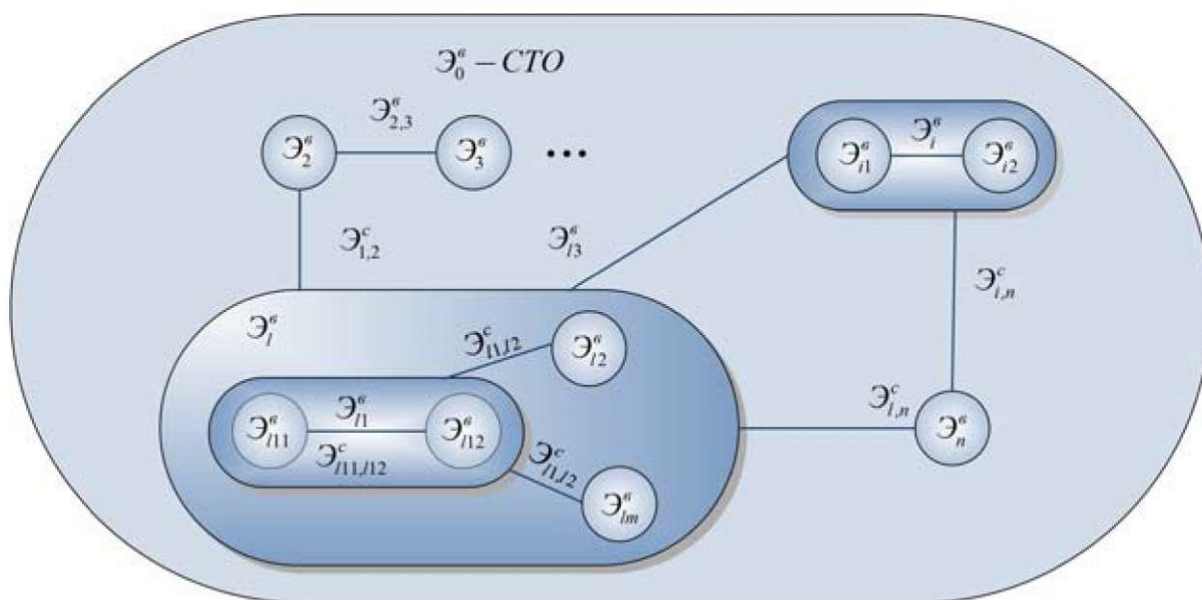


Рис. 3. Представление структуры технологического объекта в виде графа $\theta = (З^e, З^c)$

$$TЗ = \{B, Fa, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4\},$$

где B - основной размер средства технологического оснащения для литья под давлением (например, основной ход открытия пресс-формы, литьевой объем пресс-формы и т. д.);

$Fa = \{fa\}$ - множество функций проектируемой пресс-формы;

Y_1 - условия взаимодействия пресс-формы с рабочей средой (давление, температура и др.);

Y_2 - условия взаимодействия пресс-формы с окружающей средой (тип литьевой машины, место установки и т. д.);

Y_3 - условия взаимодействия пресс-формы с оператором (механизированная, полностью автоматическая, требования к обслуживанию и безопасности);

Y_4 - дополнительные требования и ограничения (например, ограничение по габаритным размерам).

Функции пресс-формы

$$fa = (D, O, H),$$

где D - указание действия, производимого пресс-формой;

O - указание объекта, на который направлено действие;

H - указание особых условий и ограничений, при которых выполняется действие.

Результат проектирования - рабочий проект (РП).

$$РП = [Pnj, m = 1, 2 \dots 9],$$

где $РП_1$ - сборочный чертёж пресс-формы;

$РП_2$ - сборочные чертежи отдельных частей пресс-формы;

$РП_3$ - чертежи всех деталей пресс-формы;

$РП_4$ - спецификации;

$РП_5$ - типовые элементы пресс-формы;

$РП_6$ - технологические расчёты процессов, протекающих в пресс-форме;

$РП_7$ - расчёт на прочность;

$РП_8$ - руководство по эксплуатации;

$РП_9$ - технологическая документация.

Информационные потоки, присутствующие при проектировании:

$$I_1 = \{I_{11}, I_{12}, I_{13}, I_{14}\},$$

где I_{11} - множество данных о наличии функциональных элементов;

I_{12} - множество данных о типах функциональных элементов;

I_{13} - множество данных о взаимном расположении функциональных элементов;

I_{14} - множество данных о наличии и типах соединительных элементов;

I_{21} - предварительные основные размеры функциональных элементов пресс-формы;

I_2 - основные размеры и характеристики функциональных элементов пресс-формы, удовлетворяющие условиям технологического назначения пресс-формы;

I_6 - данные, подтверждающие невозможность удовлетворения условиям технологического назначения пресс-формы при выбранной структуре;

$I_7 = \{PП_m\}, m = 6$ - технологические расчёты процессов, протекающих в пресс-форме (тепловые, механические);

$$I_3 = \{PП_m\}, m = 1, 2, 3, 4;$$

I_{31} - предварительные основные размеры функциональных элементов пресс-формы (не определённые ранее в I_{21});

I_{32} - основные размеры функциональных элементов пресс-формы, определяющие прочность (такие, как толщины элементов матриц и пуансонов, размеры между опор);

I_{33} - уточнённые данные о взаимном расположении функциональных элементов, типоразмеры соединительных элементов;

I_{34} - все размеры и другие характеристики всех элементов пресс-формы, в том числе не определённые ранее в I_{21} , I_{31} , I_{32} , I_{33} , а также рабочие чертежи и другая документация;

I_{35} - данные проверочного прочностного расчёта;

$$I = \{PП\} m = 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8;$$

$$I_5 = \{PП_m\}, m = 9.$$

Динамические информационные потоки проектирования:

I_{z_1} - изменения структуры пресс-формы (удаления, добавления, изменения типа или взаимного расположения функциональных элементов);

t_2 - изменения технологических параметров;

I_{I_3} - изменения конструкции;

I_{I_4} - изменения технологии изготовления.

Функцией процедурной модели FM является преобразование информационного потока, определенного техническим заданием $TЗ$, в информационный поток рабочего проекта $РП$:

$$FM: TЗ \xrightarrow{MuMnMm} PП,$$

где Mu - информационно-логическая модель проектируемых СТО;

Mn - модели процессов, протекающих в СТО;

Mm - модель технологии изготовления СТО (пресс-формы).

Процедурная модель FM , примененная к Mu , Mn , Mm , должна позволить на основании технического задания получить рабочую документацию ($РП$).

Процедурную модель представим в виде системы выражений:

$$FM = (F_1, F_2, F_3, F_4);$$

$$F_1: Fa \cup Y, \cup Y_2 \cup Y_3 \cup Y_4 \cup \Pi \xrightarrow{M^c} I_2;$$

$$F_2: BU Y_1 \cup Y_2 \cup Y_4 \cup I_2 \cup \Pi \xrightarrow{MuMnMm} \rightarrow (I_{2u}I_{2n}) \cup I_6;$$

$$F_3 : \text{Я и } U_1 \text{ и } U_2 \text{ и } U_3 \text{ и } U_4 \\ U I_2 U I_2 U \text{ЯГ}, \xrightarrow{\text{мтмтгт}} I_4 U I_3; \\ F_4: U, U U_4 \text{ и } I_3 U \text{Я} \wedge \xrightarrow{\text{Мт}} \text{Я}_5,$$

где F_1 - процедура определения структуры пресс-формы;

F_2 - процедура выполнения технологических расчетов пресс-формы;

F_3 - процедура разработки конструкции пресс-формы;

F_4 - процедура разработки технологии изготовления пресс-формы;

$M^c, M^n, M^{nга}$ - составляющие информационно-логической модели Mu проектируемого объекта.

Рассмотрим составляющие процедурной модели.

F_1 - процедура определения структуры пресс-формы состоит из следующих составляющих:

$$F_1 = \langle \wedge_{11} \wedge_{12} F \wedge_{14} \rangle;$$

$$F_u : Fa U Y_1 U Y_2 U Y_3 U Y_4 U \text{Ш} \xrightarrow{\text{мо}} \text{Я}_n; \\ F_{12}: Fa U Y_x \text{ и } Y_2 \text{ и } Y_3 \text{ и } Y_4 \text{ и } Jfr_u U \text{ИГ}_x \xrightarrow{\text{М}^c} \text{И}_{12};$$

$$F_{13}: Fa U y_1 u y_2 u y_3 l y_4 U H_{12} U H_{z1} \wedge H_{13};$$

$$F_u : Fa U y_i u y_i V j y_3 u y_4 U H_{13} U H_{z1} \wedge H_w$$

где F_{11} - процедура определения наличия функциональных элементов пресс-формы. Так как набор функциональных элементов, которые могут входить в пресс-форму, известен, нужны правила, определяющие необходимость в наличии каждого из этих элементов. Такие правила могут быть достаточно простыми, например, если в ТЗ в перечне функций оборудования имеется функция «нагреть», то, следовательно, в ней должна присутствовать система термостатирования. Так можно определить все основные элементы, входящие в пресс-форму;

F_{12} - процедура определения типа каждого из функциональных элементов. Здесь правила обычно не являются строго определёнными, они основываются на накопленном в области проектирования опыте, на особых требованиях заказчика, т.е. на ТЗ;

F_{13} - процедура, выполняющая предварительную компоновку функциональных элементов. Например, определяется местоположение литниковой системы относительно неподвижной матрицы или определяется расположение различных штуцеров и рым-болтов;

F_{14} - процедура, определяющая наличие и типы соединительных элементов пресс-формы. Она определяет типы, размеры и другие свойства соединительных элементов, таких как фланцевые, шпоночные, муфтовые соединения и т. п.

F_2 - процедура выполнения технологических расчетов состоит из следующих составляющих:

$$P_2 = \langle F_{21}, F_{22} \rangle;$$

$$F_{21}: B U Y_x \text{ и } Y_2 \text{ и } Y_4 \text{ и } \text{И}_x U \text{Ш} \cdot \xrightarrow{\text{М}^n} \text{И}_{21}; \\ F_{12}: 2? U Y_x U Y_2 \text{ и } Y_4 \text{ и } \text{И}_u U \text{И}_{21} U \text{Ш} \xrightarrow{\text{М}^n} \\ \xrightarrow{\text{М}^n} (\text{И}_2 U \text{И}_7) \vee \text{И}_6,$$

F_{21} - процедура, определяющая предварительно основные, необходимые для проведения технологических расчетов, размеры функциональных элементов пресс-формы. Основные размеры, необходимые для проведения материальных, механических и тепловых расчетов, обычно предварительно задаются на основе различных рекомендаций;

F_{22} - процедура, выполняющая материальные, тепловые и механические расчёты.

При проведении технологических расчетов основные размеры уточняются или изменяются так, чтобы обеспечивались заданные материальная нагрузка, механические и тепловые режимы в пресс-форме. При невозможности обеспечить необходимые материальный, механический и тепловой режимы при выбранных параметрах оборудования возможно изменение типов составляющих элементов или типа оборудования.

F_3 - процедура разработки конструкции пресс-формы состоит из следующих составляющих:

$$F_3 = \langle F_{31}, F_{32}, F_{33}, F_{34}, F_{35} \rangle; \\ F_{31}: Y_x \text{ и } Y_2 \text{ и } Y_3 \text{ и } Y_4 \text{ и } \text{Я}, U H_{z3} \xrightarrow{\text{М}^n} \text{И}_{31}; \\ F_{31}: y_1 U Y_2 u Y_3 u Y_4 u \text{И}_2 U H_{31} U H_{z3} \xrightarrow{\text{М}^n} \text{И}_{32}; \\ F_{33} : Y_1 \text{ и } Y_2 \text{ и } Y_3 \text{ и } Y_4 \text{ и } \text{Я}_2 \text{ и } \text{Я}_{32} \text{ и } \text{ЯГ}_3 \xrightarrow{\text{М}^n} \text{И}_{33}; \\ F_{34}: Y_x u Y_2 u Y_3 u Y_4 u \text{И}_2 U \text{И}_{33} U H_{z3} \xrightarrow{\text{М}^n} \text{И}_{34}; \\ F_{35} : Y_1 u Y_2 u Y_3 u Y_4 U \text{И}_2 u \text{И}_{34} u H_{z3} \wedge \text{И}_{35};$$

где F_{31} - процедура, определяющая предварительно основные, не определенные ранее в F_2 , размеры функциональных элементов оборудования (например, типоразмер колонок, выталкивателей, вставок);

F_{32} - процедура, производящая предварительный прочностной расчет (включает в себя упрощенный проектировочный расчет для определения толщин элементов, нагруженных давлением, или определения толщин по общим рекомендациям);

F_{33} - процедура, выполняющая уточненную компоновку (определяет точное позиционирование всех элементов относительно друг друга);

F_{34} - процедура, определяющая не определенные ранее параметры элементов пресс-формы;

F_{35} - процедура, производящая проверочный прочностной расчет.

Проверочный расчет на прочность включает в себя в общем случае следующие прочностные расчеты:

- проверочный расчет на прочность и устойчивость к действию внутреннего и наружного избыточного давления для всех нагруженных элементов оборудования;

- расчет движения между направляющей и ползуном: относительное движение;
- расчет движения ползуна во время извлечения детали: абсолютное движение;
- проверку прочности элементов, испытывающих опорные нагрузки;
- расчет максимального количества формирующих полостей, усилия смыкания, максимальной площади смыкания;
- проверку усталостной прочности элементов, испытывающих циклические нагрузки;
- равновесие сил в пресс-форме во время впрыска.

В зависимости от специфики работы конкретной пресс-формы перечень необходимых прочностных расчётов может изменяться.

По результатам проведенных проверочных прочностных расчетов возможны возврат к процедуре $F_{3,4}$ и изменение размеров элементов.

F_4 - процедура, разрабатывающая технологию изготовления пресс-формы.

Входными данными для разработки технологии изготовления является конструкторская документация: сбор-

очные чертежи пресс-формы и отдельных ее узлов и чертежи всех деталей, на которых указаны все необходимые для изготовления и сборки размеры, а также материал и тип заготовки для деталей. Как было установлено выше, для выполнения функций, определенных процедурной моделью, необходимо иметь информационно-логическую модель проектируемого технологического объекта ***Mu***; модели процессов, протекающих в пресс-форме, ***Mn***; модель технологии изготовления технологического объекта ***Mm***.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мокрозуб В.Г. Разработка интеллектуальных информационных систем автоматизированного проектирования технологического оборудования: учебное пособие. - Тамбов: Тамбовский ГТУ, 2008. - 80 с.
2. Норенков А.П., Маничев В.Б. Основы теории и проектирования САПР. - М.: Высшая школа, 1990.
3. Соснин П.И. Концептуальное моделирование компьютеризованных систем: учебное пособие. - Ульяновск: УлГТУ, 2008.
4. Основы ИПИ-технологий: учеб. пособие / под общ. ред А.Н. Тихонова, Ю.В. Полянского. - Ульяновск: УлГТУ, 2006.