

УДК 004:005:621.74

Г. Г. КУЛИКОВ, Т. К. ГИНДУЛЛИНА, М. С. ДЕМЧЕНКО, И. Ф. ИВАНОВА

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Проведен анализ процесса изготовления отливки в литейном производстве машиностроительного предприятия методом структурной декомпозиции. Выделены основные объекты производства, структура производственных процессов изготовления отливки. Определены предпосылки введения новой планово-учетной единицы «сплав» в системе управления литейным производством. *Дискретно-непрерывное производство; процесс изготовления отливки; структура производственного процесса; объекты литейного производства*

Одним из приоритетных направлений развития машиностроительных предприятий России на период до 2015 г. является применение инновационных технологий в производстве и управлении, обеспечивающих повышение экономической эффективности, экологической безопасности, ресурсосбережение и повышение конкурентоспособности продукции [5].

Очевидно, что прогресс в вопросах совершенствования систем управления предприятиями зависит от решения проблем в области организации бизнес-процессов и применения информационных технологий.

Практика внедрения автоматизированных систем управления на крупных машиностроительных предприятиях показывает, что, несмотря на усложнение моделей управления снабженческими и сбытовыми функциями, маркетинговыми и финансовыми операциями, наиболее трудоемким и сложным разделом системы управления остается оперативное управление производством в целом, в частности оперативное управление литейным производством [1, 2].

При автоматизации систем управления процессами предприятия значительную роль играет исследование структурных свойств объекта управления. Поэтому задача проведения более тщательного анализа производственного процесса изготовления отливки является актуальной.

### 1. ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ ЯЗЫК МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Для формализации процессов изготовления отливки воспользуемся графоаналитическим языком моделирования производственных процессов, являющимся метаязыком, основанным на обычном языке и объективно существующих понятиях производственных процессов.

Графические элементы языка представлены на рис. 1.

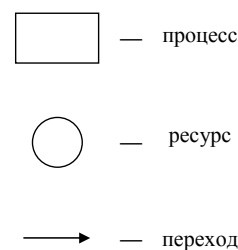


Рис. 1. Графические элементы языка

Аналитические элементы языка: ПТ — предмет труда, СТ — средства труда; Т — труд и т. д.

Используя графоаналитический язык моделирования производственных процессов, производственный процесс можно представить в следующем виде (рис.2).

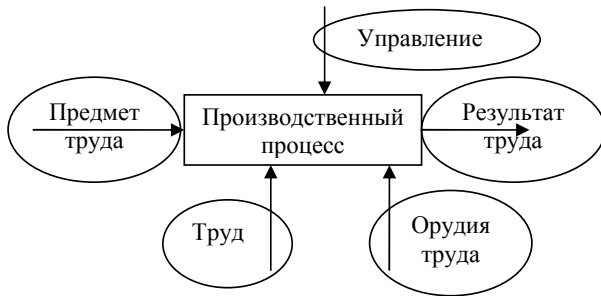


Рис. 2. Схема производственного процесса

Выделение отдельного процесса из общего производственного процесса предприятия и более углубленный его анализ представляет собой построение и анализ схемы взаимодействия ресурсов и укрупнение однородных элементарных процессов.

## 2. АНАЛИЗ РЕСУРСОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ

Все предметы труда, участвующие в процессе создания условного изделия, по своему месту в технологическом процессе различаются как объекты производства. В зависимости от степени готовности к конечному потреблению различают: сырье, основные и вспомогательные материалы, заготовки, полуфабрикаты, детали, комплектующие изделия, сборочные единицы, готовые изделия [4].

Принципиальные отличия их друг от друга заключаются в том, что заготовки, детали, сборочные единицы, готовые изделия представляют собой состояние предметов труда, изготавливаемых на предприятии, а сырье и материалы, полуфабрикаты, комплектующие изделия предприятие получает со стороны. При этом основные материалы имеют норму расхода на конкретную заготовку, а вспомогательные — на группу заготовок, принадлежащих одному выпускаемому изделию [4].

Литейное производство на предприятиях машиностроения является заготовительным и предназначено для изготовления заготовок, называемых отливками.

Проведем исследование объектов производства, участвующих в процессе изготовления отливки, выстроив цепочку преобразования одного вида объектов производства в другой по ходу технологического процесса изготовления отливки.

Поступающие в литейное производство сырье и основные материалы являются шихтовыми материалами (ШМ).

Обозначим ШМ множество шихтовых материалов, состоящих из элементов  $m_y$ :

$$\text{ШМ} = (m_1, m_2, \dots, m_Y), m_y \in \text{ШМ} \quad [1; Y],$$

где  $m_y$  — компонент шихтового материала.

Шихтовые материалы — множество материалов, каждый из которых имеет свой поэлементный химический состав и свою качественную характеристику.

Обозначим  $E$  множество химических элементов, состоящих из элементов  $e_l$ :

$$E = (e_1, e_2, \dots, e_L), e_l \in E \quad [1; L],$$

где  $e_l$  — химический элемент.

Тогда химический состав шихтового материала  $m_y$  можно представить в виде множества входящих в него химических элементов.

Если  $q_{yl} > 0$ , тогда  $e_l \in m_y$ , где  $q_{yl}\%$  — содержание  $l$ -го химического элемента в шихтовом материале  $m_y$ :

$$\sum_{l=1}^L q_{yl} = 100\%.$$

Шихтовые материалы делят на «свежие» и «возврат», соотношение которых для каждого сплава регламентируется соответствующими документами.

Обозначим ШМс множество свежих шихтовых материалов, состоящих из элементов  $m_{ci}$ :

$$\text{ШМс} = (m_{c1}, m_{c2}, \dots, m_{cI}), m_{ci} \in \text{ШМс} \quad [1; I],$$

где  $m_{ci}$  — компонент свежего материала:

$$\text{ШМс} \subset \text{ШМ}.$$

Обозначим ШМв множество возвратных шихтовых материалов, состоящих из элементов  $m_{vj}$ :

$$\text{ШМв} = (m_{v1}, m_{v2}, \dots, m_{vJ}), m_{vj} \in \text{ШМв} \quad [1; J],$$

где  $m_{vj}$  — компонент возвратного материала:

$$\text{ШМв} \subset \text{ШМ}.$$

Таким образом, множество шихтовых материалов в литейном производстве представляет собой объединение двух множеств ШМс и ШМв:

$$\text{ШМ} = \text{ШМс} \cup \text{ШМв}.$$

На основе шихтовых материалов формируется компонентный шихтовой набор (ШН) и шихтовая завалка (ШЗ) для приготовления сплава (С). (рис. 3).

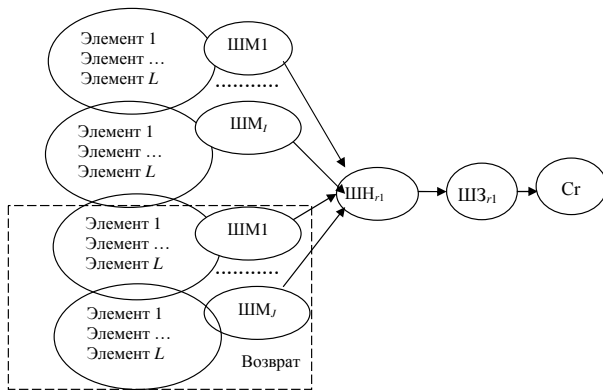


Рис. 3. Схема формирования шихтового набора для сплава

Особенностью литейного производства является наличие многовариантности процесса приготовления сплава. Так, один и тот же сплав в литейном производстве может быть получен из различных наборов исходных материалов.

Обозначим  $C$  множество сплавов, состоящих из элементов  $c_r$ :

$$C = (c_1, c_2, \dots, c_R), c_r \in C [1; R],$$

где  $c_r$  —  $r$ -я марка сплава.

Вышеописанное множество сплавов состоит из подмножеств, определяющих вид сплава:

$$C = C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_z \cup \dots \cup C_Z.$$

Одна марка сплава  $c_r$  относится только к одному виду сплава.

Химический состав марки сплава  $c_r$  можно представить в виде множества входящих в него химических элементов.

Если  $k_{rl} > 0$ , тогда  $e_l \in c_r$ , где  $k_{rl}\%$  — содержание  $l$ -го химического элемента в сплаве  $r$ -й марки  $c_r$ :

$$\sum_{l=1}^L k_{rl} = 100\%.$$

Обозначим  $\text{ШН}r$  множество шихтовых наборов, из которых возможно приготовление  $r$ -й марки сплава, состоящего из элементов  $s_{rd}$ :

$$\text{ШН}r = (s_{r1}, s_{r2}, \dots, s_{rD}), s_{rd} \in \text{ШН}r [1; D],$$

где  $s_{rd}$  — вариант шихтового набора для приготовления  $r$ -й марки сплава.

В свою очередь вариант шихтового набора  $s_{rd}$  можно представить в виде множества входящих в него шихтовых материалов  $m_y$ .

Если  $g_{yrd} > 0$ , тогда  $m_y \in s_{rd}$ , где  $g_{yrd}$  — применяемость шихтового материала  $m_y$  в шихтовом наборе  $s_{rd}$ .

Набор шихтовых материалов по химическому составу элементов должен соответствовать элементному составу сплава, регламентируемому ГОСТами, ТУ на химический состав сплава [3].

Шихтовая завалка представляет собой множество шихтовых материалов из шихтового набора в строго определенном количестве для изготовления необходимого количества сплава.

Обозначим  $\text{ШЗ}r$  множество шихтовых завалок, из которых возможно приготовление  $r$ -й марки сплава из  $d$ -го набора, состоящего из элементов  $z_{rdh}$ :

$$\text{ШЗ}rd = (z_{rd1}, z_{rd2}, \dots, z_{rdH}), \\ z_{rdh} \in \text{ШЗ}rd [1; H],$$

где  $z_{rdh}$  —  $h$ -я шихтовая завалка  $d$ -го шихтового набора для приготовления  $r$ -й марки сплава.

В свою очередь шихтовую завалку  $z_{rdh}$  можно представить в виде множества входящих в нее шихтовых материалов  $m_y$ .

Если  $v_{yrdh} > 0$ , тогда  $m_y \in z_{rdh}$ , где  $v_{yrdh}$  — вес шихтового материала  $m_y$  в шихтовой завалке  $z_{rdh}$ .

Общий вес  $h$ -й шихтовой завалки для изготовления сплава  $r$ -й марки весом  $Vc_r$  будет определяться следующим соотношением:

$$Vz_{rdh} = \sum_{y=1}^Y v_{yrdh} = Vc_r + Vy_{c_k} + V_{T_{c_k}},$$

где  $Vz_{rdh}$  — общий вес шихтовой завалки для плавки;

$v_{yrdh}$  — вес шихтового материала  $m_y$  в шихтовой завалке  $z_{rd}$ ;

$Vc_r$  — вес изготавливаемого во время плавки сплава  $r$ -й марки;

$Vy_{c_r}$  — вес угара во время плавки сплава  $r$ -й марки;

$V_{T_{c_r}}$  — вес сплава на технужды во время плавки сплава  $r$ -й марки.

Еще одна особенность литейного производства заключается в том, что один и тот же сплав может быть использован для изготовления различных видов отливок (О).

Таким образом, сами отливки, изготавливаемые из сплава марки  $r$ , могут быть представлены как множество  $O_r$ , состоящее из элементов  $o_{rn}$ :

$$O_r = (o_{r1}, o_{r2}, \dots, o_{rN}), o_{rn} \in O_r [1; N],$$

где  $o_{rn}$  — отливка  $n$ -го вида, изготавливаемая из  $r$ -й марки сплава.

Схема получения  $n$  вида отливок из одной марки сплава представлена на рис. 4.

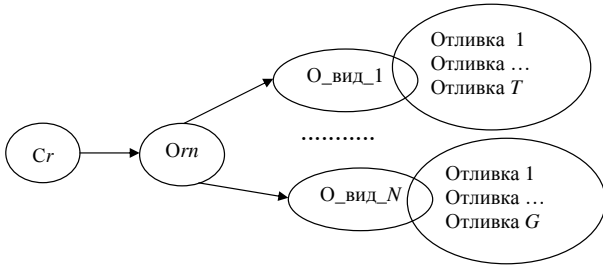


Рис. 4. Схема получения отливок из сплава

Добавим к рассмотренным выше элементам элементы, обозначающие: шихтовую завалку (ШЗ); сплав, находящийся в формах (СвФ); отливки в форме (ОвФ), выбитые отливки (ОВ). Таким образом, цепочка преобразования объектов производства по ходу технологического процесса изготовления отливки примет вид, представленный на рис. 5.

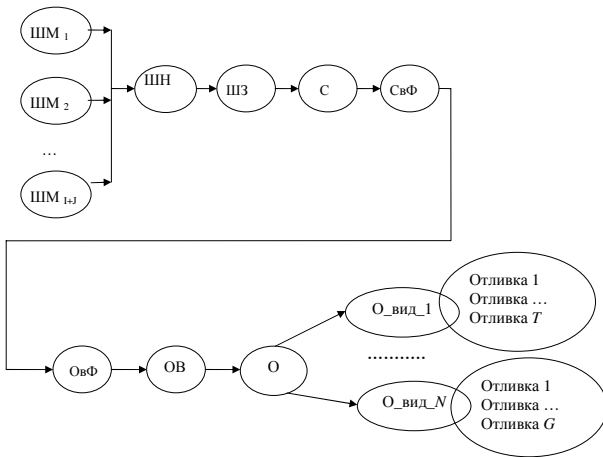


Рис. 5. Цепочка преобразования объектов производства в процессе изготовления отливки

В рамках данной работы проведем анализ орудий труда, применяемых в процессе изготовления отливки и имеющих особенности использования, характерные только для литейного производства. Такими орудиями труда являются плавильные агрегаты, формы для изготовления отливок.

Рассмотрим использование орудия труда — плавильного агрегата (ПА), применяемого для приготовления сплава (С).

Обозначим ПА множество плавильных агрегатов, состоящих из элементов  $p_f$ :

$$ПА = (p_1, p_2, \dots, p_F), p_f \in ПА \quad [1; F],$$

где  $p_f$  —  $f$ -й плавильный агрегат.

Вышеописанное множество состоит из подмножеств, определяющих тип плавильного агрегата:

$$ПА = ПА_1 \cup ПА_2 \cup \dots \cup ПА_b \cup \dots \cup ПА_B.$$

Плавильный агрегат может быть использован для приготовления различных марок сплава одного вида, в то же время одна и та же марка сплава может быть приготовлена в разных плавильных агрегатах одного типа (рис. 6).

Сплав  $c_{zr}$  может быть получен путем объединения в процессе плавки шихтовой завалки  $z_{rdh}$  и плавильного агрегата  $p_{be}$  (рис. 3 и рис. 6), т. е. множество сплавов может быть получено путем объединения шихтовых завалок и плавильных агрегатов в процессе плавки.

Рассмотрим использование орудия труда — формы (Ф), применяемой для изготовления отливки (О).

Одна марка сплава может быть разлита в разные виды формы. Один вид формы может быть использован для изготовления отливки одного вида, один вид отливки может быть получен только из одного вида формы (рис. 7).

Обозначим Ф множество видов форм, состоящих из элементов  $f_n$ :

$$Ф = (f_1, f_2, \dots, f_n), f_n \in Ф \quad [1; N],$$

где  $f_n$  — форма  $n$ -го вида.

Множество видов форм О и множество видов форм Ф имеют взаимно-однозначное соответствие.

Отливка  $o_n$  может быть получена путем объединения в процессе разлива сплава по формам сплава  $c_r$  и формы  $f_n$ , т. е. множество видов отливок может быть получено путем объединения множества сплавов и множества форм.

Таким образом, связь между основными объектами производства и орудиями труда можно представить в виде схемы (рис. 8).

В соответствии с действующими инструкциями на предприятиях авиационной промышленности (ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение», ОАО «Балашихинский литейно-механический завод» и др.) основные материалы (компоненты шихты) имеют норму расхода на конкретную отливку, т. е. в качестве объектов

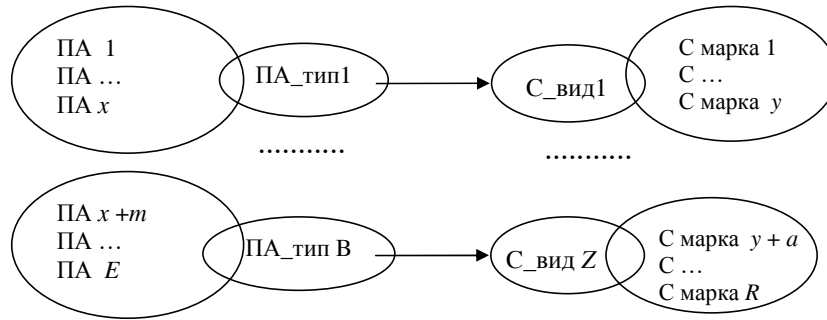


Рис. 6. Схема связи между сплавом и плавильным агрегатом

производства, являющихся планово-учетными единицами в литейном производстве машиностроительных предприятий, выступают шихтовой материал и отливка. Такой подход был реализован еще в советские времена, он значительно упрощал реальную действительность, но был экономически оправдан ввиду сложности реализации системы оперативного управления производством имеющимися в то время информационными технологиями.

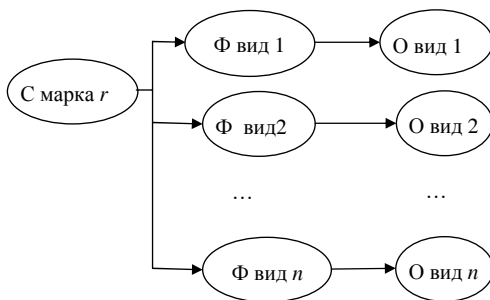


Рис. 7. Схема связи между сплавом, отливками и формами

В то же время такой упрощенный подход приводит к искажениям в планировании и учете литейного производства, в частности шихтовых материалов, отливок.

Проведенное исследование движений объектов производства, взаимосвязи с орудиями

труда, анализом характера их использования в процессе изготовления отливок показывает необходимость применения в качестве планово-учетных единиц шихтовых материалов, сплавов и отливок.

### 3. СТРУКТУРА ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ

Хорошо известно, что сложная система, такая как современный технологический процесс, состоит из целого ряда подсистем, в каждой из которых выполняется какая-то одна сравнительно простая операция. Исходным объектом обработки следующей подсистемы является продукция предыдущей. В обобщенном виде, с теми или иными допущениями, процесс литейного производства состоит из следующих основных технологических процессов:

- 1) разработка технологического процесса изготовления отливок, включая проектирование литейной оснастки;
- 2) материальная подготовка производства, включающая изготовление оснастки и моделей;
- 3) изготовление литейных форм и подготовка их к заливке металлом;
- 4) выплавка металла;

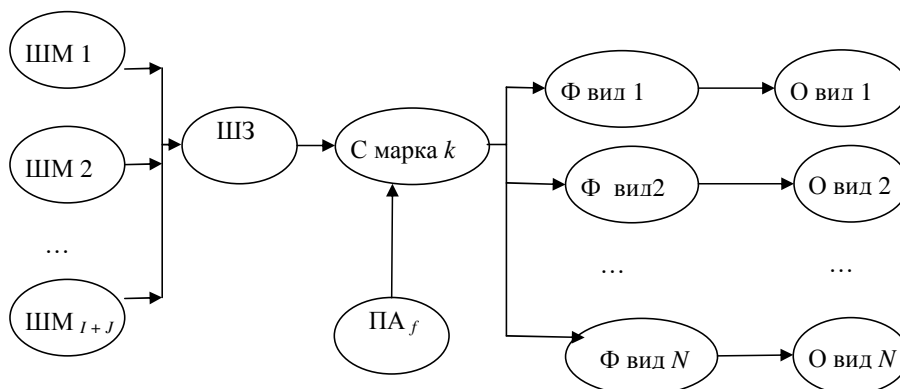


Рис. 8. Схема связи между сплавом, отливками и формами

5) заливка форм, выдержка отливок в формах;

6) выбивка отливок и передача их в обрубное отделение;

7) обработка в обрубном отделении, включая операции предварительной очистки поверхности литья, удаление прибылей, литников, заливок, термическую обработку, полную очистку поверхности и исправление литейных дефектов;

8) проверка качества, размеров отливок, окончательная приемка.

В данной работе рассмотрим процесс литейного производства на стадии непосредственного производства отливок, не рассматривая технологическую и материальную подготовку производства. Процесс производства отливок, как и любой другой производственный процесс, можно представить как совокупность производственных процессов нижнего уровня. В структуре процесса производства отливки можно выделить:

- 1) ПИО — процесс изготовления отливки
- 2) ППШ — процесс подготовки шихты;
- 3) ПИС — процесс изготовления сплава;
- 4) ППО — процесс получения отливки.

Производство можно представить как систему «затраты–выпуск», в которой выпуском является то, что фактически произведено, а затратами — то, что потребляется с целью выпуска (капитал, труд, энергия, сырье). Поэтому формально можно сказать, что производство — это функция, которая каждому набору затрат и конкретной технологии ставит в соответствие определенный выпуск. В математической модели технология производства учитывается обычно посредством задания соотношений между затратами и выпуском т.е. нормой затрат каждого из ресурсов, необходимых для получения одной единицы выпускаемой продукции.

Математически производственный процесс можно описать с помощью теории технологического множества. Технологическое множество (обозначим его символом  $T$ ) — это множество таких преобразований, когда производство продукции  $y = (y_1, \dots, y_m)$  при затратах  $x = (x_1, \dots, x_m)$  технологически возможно в том и только в том случае, когда  $(x, y) \in T$ . Обозначим пару  $(x, y)$  как производственный процесс, следовательно, множество  $T$  представляет собой множество всех производственных процессов, возможных при данной технологии.

Опишем с помощью теории технологического множества процесс изготовления от-

ливки (ПИО), который состоит из нескольких подпроцессов:

- 1) процесс подготовки шихты (ППШ);
- 2) процесс изготовления сплава (ПИС);
- 3) процесс получения отливки (ППО).

Рассмотрим основные структурные свойства выделенных процессов изготовления отливки.

1. ППШ — процесс подготовки шихты (дискретный) состоит из следующих производственных процессов:

- ПСШ — процесс сбора шихты (сосредоточение необходимых шихтовых материалов в одном месте) — дискретный процесс;
- ПНШ — процесс навески шихты (определение кол-ва шихты в соответствии с шихтовым листом) — дискретный процесс.

На рис. 9 представлена схема последовательного процесса подготовки шихты, показывающая взаимосвязь его структурных элементов.

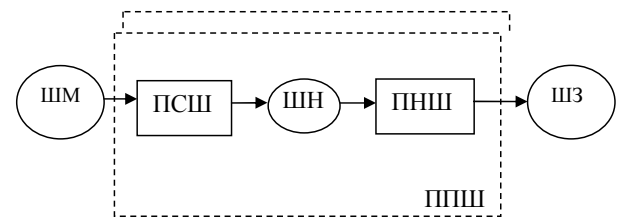


Рис. 9. Схема последовательного процесса подготовки шихты

Таким образом, множество процессов подготовки шихты (ППШ) представляет собой объединение множества процессов сбора шихты (ПСШ) и множества процессов навески шихты (ПНШ):

$$\text{ППШ} = \text{ПСШ} \cup \text{ПНШ}.$$

Множество процессов сбора шихты  $\text{ПСШ} = (\text{ШМ}, \text{ШН})$ , следовательно,  $\text{ПСШ} = (\text{ШМ}_c \cup \text{ШМ}_в, \text{ШН})$ . Здесь  $\text{ШМ}$  — множество шихтовых материалов;  $\text{ШМ}_c$  — множество свежих шихтовых материалов;  $\text{ШМ}_в$  — множество возвратных шихтовых материалов;  $\text{ШН}$  — множество шихтовых наборов.

Множество процессов навески шихты  $\text{ПНШ} = (\text{ШН}, \text{ШЗ})$ , где  $\text{ШЗ}$  — множество шихтовых завалок.

Таким образом, множество процессов подготовки шихты определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{ППШ} &= \text{ПСШ} \cup \text{ПНШ} = \\ &= ((\text{ШМ}_c \cup \text{ШМ}_в), \text{ШН}) \cup (\text{ШН}, \text{ШЗ}) = \\ &= ((\text{ШМ}_c \cup \text{ШМ}_в), \text{ШЗ}), \end{aligned}$$

следовательно,  $ППШ = ((ШМс \cup \cup ШМв), ШЗ)$ .

2. ПИС — процесс изготовления сплава (непрерывный) состоит из следующих производственных процессов:

- ПЗШ — процесс завалки шихты (загрузка шихтовых материалов в плавильный агрегат) — дискретный;
- ПП — процесс плавки — непрерывный;
- ПАН — процесс анализа сплава — дискретный;
- ППШМ — процесс подшихтовки — дискретный. Процесс подшихтовки выполняется на основе результатов экспресс-анализа химического состава сплава (в случае необходимости корректировки сплава по составу химических элементов). В течение одного процесса плавки может совершаться неоднократно, длительность его не может быть больше длительности текущей плавки.

На рис. 10, 11 представлены схемы процесса изготовления сплава, учитывающие наличие (рис. 11) и отсутствие (рис. 10) процесса подшихтовки.

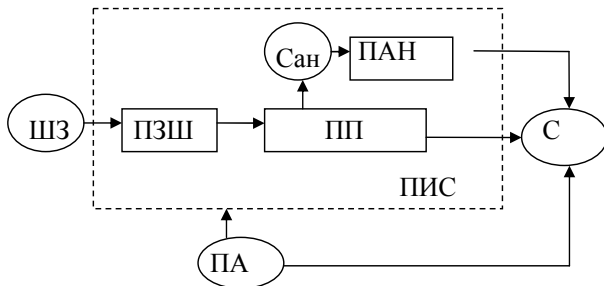


Рис. 10. Схема процесса изготовления сплава без подшихтовки

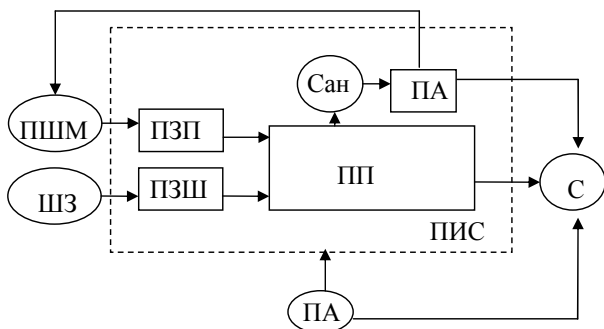


Рис. 11. Схема процесса изготовления сплава с анализом и подшихтовкой

Множество процессов изготовления сплава (ПИС) представляет собой объединение множества процессов завалки шихты (ПЗШ), множества процессов плавки (ПП), множества процессов анализа сплава (ПАН) и мно-

жества процессов подшихтовки (ППШМ):

$$ПИС = ПЗШ \cup ПП \cup ПАН \cup ППШМ.$$

Множество процессов завалки шихты представляет собой процессы загрузки шихтовой завалки (ШЗ) в плавильный агрегат (ПА):  $ПЗШ = (ШЗ, ШЗ \cup ПА)$ .

Множество процессов плавки  $ПП = (ШЗ \cup \cup ПА, С)$ , где  $С$  — множество сплавов.

Множество процессов анализа сплава (ПАН) представляет собой объединение процессов взятия сплава (ПВС) и процесса проведения анализа (ППА):  $ПАН = ПВС \cup ППА$ .

Множество процессов взятия сплава на анализ:  $ПВС = (С, Сан)$ , где  $Сан$  — множество проб сплава,  $Сан \subset С$ .

Множество процессов проведения анализа (ППА):  $ППА = (Сан, ППШ)$ , где ППШМ — множество материалов для подшихтовки,  $ППШМ \subset ШМс$ .

Следовательно,  $ПАН = ПВС \cup ППА = (С, Сан) \cup (Сан, ППШМ) = (С, ППШМ)$ .

Множество процессов подшихтовки:  $ППШМ = (ПШМ \cup ПА, С)$ .

Множество процессов изготовления сплавов определяется следующим образом:

$$ПИС = ПЗШ \cup ПП \cup ПАН \cup ППШМ = (ШЗ, ШЗ \cup ПА)(ШЗ \cup ПА, С) \cup (С, ППШМ) \cup (ПШМ \cup ПА, С).$$

Кратко можно записать  $ПИС = (ШЗ \cup \cup ПШМ \cup ПА, С)$ .

3. ППО — процесс получения отливки (дискретный) состоит из следующих производственных процессов:

- ПРС — процесс разлива сплава по формам (дискретный);
- ПЗ — естественный процесс застывания (пребывания сплава в форме), являющийся технологическим перерывом между операциями со своими производственными характеристиками (например, длительность процесса, температура затвердевания сплава и т. п.);
- ПМО — процесс механических операций с отливкой (дискретный), который состоит из производственных процессов: ПВизФ — процесс выбивки отливок из формы; ПОО — процесс обрубки отливок.

На рис. 12 представлена схема процесса получения отливки, показывающая взаимосвязь его структурных элементов.

Множество процессов получения отливки (ППО) представляет собой объединение множества процессов разлива сплава по формам (ПРС), множества процессов застывания

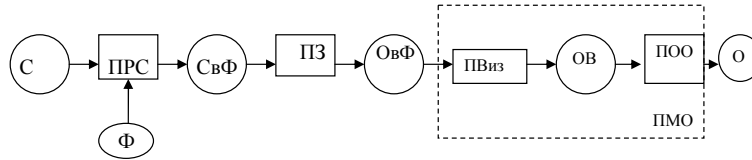


Рис. 12. Схема получения отливки

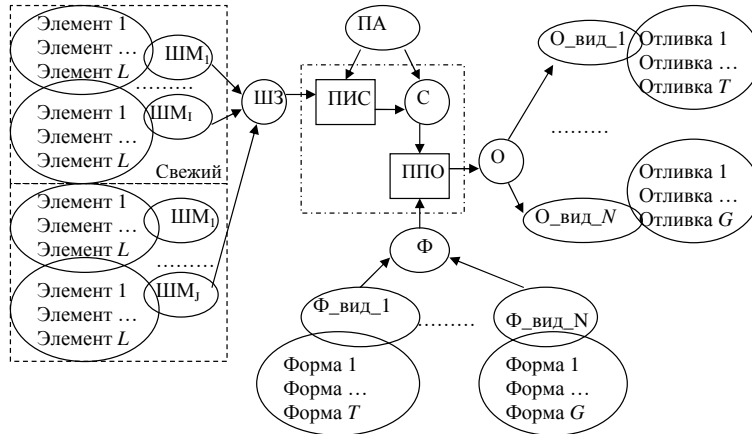


Рис. 13. Схема процесса изготовления отливки

сплава в форме (ПЗ), множества процессов механических операций с отливкой (ПМО):

$$\text{ППО} = \text{ПРС} \cup \text{ПЗ} \cup \text{ПМО}.$$

Множество процессов разлива сплава по формам  $\text{ПРС} = (\text{С} \cup \Phi, \text{Св}\Phi)$ , где  $\Phi$  – множество форм;  $\text{Св}\Phi$  – множество сплавов в форме.

Множество процессов застывания сплава в форме:  $\text{ПЗ} = (\text{Св}\Phi, \text{Ов}\Phi)$ , где  $\text{Ов}\Phi$  – множество отливок в форме.

Множество процессов механических операций с отливкой (ПМО) представляет собой объединение множества процессов выбивки отливок из формы (ПвизФ) и множества процессов обрубки отливок (ПОО):  $\text{ПМО} = \text{Пвиз}\Phi \cup \text{ПОО}$ .

Множество процессов выбивки отливок из формы  $\text{Пвиз}\Phi = (\text{Ов}\Phi, \text{ОВ})$ , где  $\text{ОВ}$  – множество отливок, выбитых из формы.

Множество процессов обрубки отливок  $\text{ПОО} = (\text{ОВ}, \text{О})$ , где  $\text{О}$  – множество готовых отливок.

Следовательно,  $\text{ПМО} = \text{Пвиз}\Phi \cup \text{ПОО} = (\text{Ов}\Phi, \text{ОВ}) \cup (\text{ОВ}, \text{О}) = (\text{Ов}\Phi, \text{О})$ .

Таким образом, множество процессов получения отливки определяется следующим образом:  $\text{ППО} = \text{ПРС} \cup \text{ПЗ} \cup \text{ПМО} = (\text{С} \cup \Phi, \text{Св}\Phi) \cup (\text{Св}\Phi, \text{Ов}\Phi) \cup (\text{Ов}\Phi, \text{О}) = (\text{С} \cup \Phi, \text{О})$ .

Соединив составные части процесса изготовления отливки (ППО), множество про-

цессов изготовления отливки можно представить:

$$\begin{aligned} \text{ППО} &= \text{ППШ} \cup \text{ПИС} \cup \text{ППО} = \\ &= (\text{ШМ}_\text{С} \cup \text{ШМ}_\text{В}, \text{ПЗ}) \cup \\ &\cup (\text{ШЗ} \cup \text{ПА} \cup \text{ПШМ}, \text{С}) \cup (\text{С} \cup \Phi, \text{О}). \end{aligned}$$

Следовательно,  $\text{ППО} = (\text{ШМ}_\text{С} \cup \text{ШМ}_\text{В} \cup \text{ПА} \cup \Phi, \text{О})$ , где  $\text{ШМ}_\text{С} = (m_{c1}, m_{c2}, \dots, m_{cI})$ ,  $m_{ci} \in \text{ШМ}_\text{С} [1; I]$ ,  $m_{ci}$  – компонент свежего материала.

$\text{ШМ}_\text{В} = (m_{v1}, m_{v2}, \dots, m_{vJ})$ ,  $m_{vj} \in \text{ШМ}_\text{В} [1; J]$ ,  $m_{vj}$  – компонент возвратного материала.

$\text{ПА} = (p_1, p_2, \dots, p_E)$ ,  $p_e \in \text{ПА} [1; E]$ ,  $p_f$  –  $f$ -й плавильный агрегат.

$\Phi = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ ,  $f_n \in \Phi [1; N]$ ,  $f_n$  – форма  $n$ -го вида.

$\text{О} = (o_1, o_2, \dots, o_N)$ ,  $o_n \in \text{О} [1; N]$ ,  $o_n$  – отливка  $n$ -го вида.

Таким образом, процесс изготовления отливок представляет собой функцию  $g$ :

$$g(m_c, m_v, p, f) = o.$$

Обобщив графоаналитические схемы элементов процесса изготовления отливок, получим схему, представленную на рис. 13, которая отражает процесс преобразования одного вида объекта производства в другой, ход технологического процесса изготовления отливки, общую структуру процесса, демонстрирующую границы производственных процессов, последовательность их выполнения.



Представленная на рис. 13 структура производственного процесса изготовления отливки отображает общие закономерности и свойства множества конкретных производственных процессов литья, а также синтаксис предложений графоаналитического языка моделирования применительно к производственным процессам литья.

В [3] показано, что предложенная структурная модель процесса литья позволяет далее сформировать структуру функциональной модели цехового планирования, учета производства и поддержки принятия решений при оперативном управлении по методологии структурного моделирования IDEF0 и процессного моделирования DEM ERP BAAN V.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование производственного процесса изготовления отливки позволило выделить основные производственные процессы и их структурные свойства. Исследование движений объектов производства, взаимосвязи с орудиями труда, анализ характера их использования в процессе изготовления отливок позволило предложить еще одну планово-учетную единицу — сплав в системе оперативного управления производством.

Результаты исследования были использованы в проекте по адаптации ERP BAAN V на ОАО УМПО [6], в частности, были созданы: база данных по изготавливаемым сплавам и литейному оборудованию; программное обеспечение по управлению производственными заказами в литейном производстве, в т. ч. производственными заказами на изготовление сплавов; программное обеспечение для формирования отчета по сплавам, отражающего план цеха в связке с изготавливаемыми отливками.

В настоящий момент идет опытная эксплуатация разработанных решений, по результатам которой будет определен экономический эффект.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Баронов, В. В.** Автоматизация управления предприятием / В. В. Баронов, Г. Н. Калянов, Ю. И. Попов, А. И. Рыбников. М. : ИНФРА-М, 2000. 239 с.
2. **Питеркин, С. В.** Точно вовремя для России. Практика применения ERP-систем / С. В. Питеркин, Н. А. Оладов, Д. В. Исаев. М. : Альпина Паблицер, 2002. 368 с.
3. **Куликов, Г. Г.** Автоматизация литейного производства на машиностроительном предприя-

тии на основе процессной модели / Г. Г. Куликов, В. Л. Христоролюбов, Т. К. Гиндуллина, М. С. Демченко // Вестник УГАТУ. 2007. Т. 9, № 4(22). С. 39–47.

4. **Куликов, Г. Г.** Основы информационной технологии создания автоматизированных систем оперативного управления машиностроительным предприятием / Г. Г. Куликов, А. В. Речкалов // Вестник УГАТУ. 2002. Т. 3, № 2.
5. **Чейз, Р. Б.** Производственный и операционный менеджмент / Р. Б. Чейз, Н. Дж. Эквילайн, Р. Ф. Якобс. М. : Вильямс, 2001. 704 с.
6. ОАО «УМПО» [Электронный ресурс] ([www.umpro.ru](http://www.umpro.ru)).

### ОБ АВТОРАХ



**Куликов Геннадий Григорьевич**, проф., зав. каф. АСУ. Дипл. инж. по автоматиз. машиностроения (УАИ, 1971). Д-р техн. наук по систем. анализу, автоматич. упр. и тепловым двигателям (УАИ, 1989). Иссл. в обл. АСУ и упр. силовыми установками ЛА.



**Гиндуллина Тамара Камильевна**, доц. каф. АСУ. Диплом. инженер-экономист по экономике и организации машиностроения (УАИ, 1990). Канд. техн. наук по АСУ (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. автоматизации управления предприятием.



**Демченко Марина Сергеевна**, аспирант каф. АСУ. Дипл. экономист по информ. системам (УГАТУ, 2003). Готовит дис. по автоматизации управления системой планирования литейного производства.



**Иванова Ирина Фанилевна**, асп. той же каф. Дипл. экономист по информ. системам (УГАТУ, 2002). Готовит дис. по автоматизации управления затратами промышл. предприятия.