|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **Математическая модель объектов производства**  **и процесса литья**   |  |  | | --- | --- | | **Разработано:** | **Институт Автоматизации проектирования РАН** | | **Версия документа:** | **0.2** | | **Дата создания:** | **09.12.2013** | | |
| **Москва – 2013** | |

**Контроль изменений документа**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Имя изменившего** | **Дата изменения** | **Версия** | **Описание изменения** |
| Нелюбин А.П. | 06.12.2013 | 0.1 | Первоначальная версия документа.  Описаны входные параметры объектов производства, известные на начало планируемого периода. |
| Нелюбин А.П. | 09.12.2013 | 0.2 | Входные параметры объектов производства скорректированы по замечаниям.  Добавлены искомые параметры объектов производства, соответствующие планируемому расписанию их работы.  Добавлено описание модели процесса литья. |

**оглавление**

1. Математическая модель объектов производства 4

1.1. Общее описание модели 4

1.2. формальное описание модели 4

2. Математическая модель процесса литья 8

2.1. Общее описание модели 8

2.2. формальное описание модели 9

1. **Математическая модель Объектов производства**
   1. **Общее описание модели**

Целью математической модели.

* 1. **ФОРМАЛЬНОЕ описание модели**

**Объект**: завод *plant*

**Известные параметры** завода:

- <list>*CastHouse*(*plant*) – список литейных отделений завода

- <map>*SGP*(*plant*, *prod, length*) – склад готовой продукции при заводе (<map> – соответствие: кортеж <*prod, length*> → имеющийся объем в тоннах)

- *PremA7*(*plant*) – премия A7 на период планирования для данного завода

- <map>*TrCost*(*plant*, *dest*, *cont, form*) – тариф на перевозку в пункт назначения *dest* в контейнере *cont* (руб.) (<map> – соответствие: кортеж <*dest*, *cont, form>* → стоимость)

- <map>*nCont*(*plant*, *cont*) – доступное количество контейнеров *cont* для транспортировки с завода (<map> – соответствие: *type* → количество)

- <map>*Cost*(*plant, mark, form*) – себестоимость литейного передела (<map> – соответствие: кортеж <*mark, form*> → себестоимость в руб.)

- *ClipAddCost*(*plant*) – дополнительные затраты на обрезь

- *MeltingLoss*(*plant*) – угар при плавке

**Объект**: контейнер *cont*

**Известные параметры** контейнера:

- *Type*(*cont*) – тип. Значения: КВ – крытый вагон, ПВ – полувагон, Конт – контейнер, МорКонт – морской контейнер.

- *Capacity*(*cont*) – грузоподъемность (т)

**Объект**: литейное отделение *castHouse*

**Известные параметры** ЛО:

- *Plant*(*castHouse*) – завод

- <list>*CUnits*(*castHouse*) – список литейных агрегатов в ЛО

- <list>*Moulds*(*castHouse*) – список оснасток, имеющихся в ЛО

- <list>*Filters*(*castHouse*) – список фильтров, имеющихся в ЛО

- <list>*Heater*(*castHouse*) – список разогревателей фильтров

- *BlankWeightMax*(*castHouse*) – грузоподъемность крана (~18т)

- электролизный цех:

- <list>*Els*(*castHouse*) – список электролизеров

- (*castHouse*) – объем полного ковша (т)

**Объект**: литейный агрегат *k*

**Известные параметры** агрегата:

- *CastHouse*(*k*) – литейное отделение

- <list>*Filters*(*k*) – список фильтров, подходящих агрегату

- *Structure*(*k*) – структура агрегата. Литейные машины используются при производстве плоских, цилиндрических слитков и Т-образной чушки. При производстве мелкой чушки вместо литейной машины используется конвейер, состоящий из металлических форм (изложниц) для отливки чушки, которые находятся на движущейся ленте. Для производства катанки используются прокатные станы.

- *nCollect*(*k*) – число миксеров копильников (1, 2)

- <list>*Collect*(*k*) – список копильников

- *nDistr*(*k*) – число миксеров раздаток (0, 1)

- <list>*Distr*(*k*) – список раздаток

- *nFilter*(*k*) – число фильтров тонкой очистки (0, 1)

- *Filter*0(*k*) – фильтр, смонтированный на агрегате в начале планируемого периода

- *nCM*(*k*) – число литейных машин (1, 2, 3) (SLABS, BILLETS, T-BARS)

- <list>*CM*(*k*) – список литейных машин

- *nHomCut*(*k*) – число линий гомогенизации и резки (0, 1, 2) (BILLETS)

- <list>*HomCut*(*k*) – список линий гомогенизации и резки

- *T*0(*k*) – время начала доступности агрегата в планируемом периоде

- *Prod*0(*k*) – продукция, выполняемая непосредственно перед планируемым периодом

- *Cast*0(*k*) – ходка, выполняемая непосредственно перед планируемым периодом

- *Tchange*(*k, mark*1*, mark*2) – время промывки миксера при переходе между марками (ч)

- *Vchange*(*k, mark*1*, mark*2) – объем промывки миксера при переходе между марками (т)

- *Iclean*(*k, mark*1*, mark*2) – индикатор необходимости чистки миксера при переходе между марками (*true*/*false*)

- *CleanCost*(*k*) – стоимость чистки миксера (руб/т)

- <map>*FilterCons*(*k, mark*) – расход фильтра при отливке продукта с маркой *mark* (<map> – соответствие: *mark* → расход в ресурс/тонна)

- <map>*El*%(*k*, *element*) – возможности агрегата по уменьшению примеси *element* в сплаве (<map> – соответствие: *element* → значение в %)

- (*k*) – время заливки полного ковша в миксер (ч)

**Искомые параметры** агрегата:

- <list>*OrderParts*(*k*) – упорядоченный список частей заказов, выполняемых на агрегате. Предполагается, что части заказов выполняются на агрегате непрерывно. Время старта и финиша исполнения каждой части заказа относится к искомым параметрам соответствующей части. Там же указано число ходок в каждую смену.

**Объект**: миксер копильник *collect*

**Известные параметры** копильника:

- *CU*(*collect*) – литейный агрегат

- *V*mixer(*collect*) – максимальный объем миксера (т) (~ 15–100 т)

- *V*rest(*collect*) – минимальный объем «болота» (т)

- (*collect, mark*) – постоянное время подготовки миксера (ч) (<map> – соответствие: *mark* → время)

- *vpour*(*collect*) – скорость перелива расплава из копильника в раздатку (т/ч)

- *R*(*collect*) – общее число ремонтов копильника в месяц

- <list>*TSr*(*collect*) и *TFr*(*collect*) – время начала и окончания ремонта *r* = 1, …, *R*(*collect*)

- *nClean*(*collect*) – количество чисток в месяц

- *Tclean*(*collect*) – время на чистку миксера

**Объект**: миксер раздатка *distr*

**Известные параметры** раздатки:

- *CU*(*distr*) – литейный агрегат

- (*distr, mark*) – постоянное время подготовки миксера (ч) (<map> – соответствие: *mark* → время)

- *R*(*distr*) – общее число ремонтов раздатки в месяц

- <list>*TSr*(*distr*) и *TFr*(*distr*) – время начала и окончания ремонта *r* = 1, …, *R*(*distr*)

- *nClean*(*distr*) – количество чисток в месяц

- *Tclean*(*distr*) – время на чистку миксера

**Объект**: литейная машина *cm* (casting machine)

**Известные параметры** литейной машины:

- *CU*(*cm*) – литейный агрегат

- (*cm, mark*) – постоянное время подготовки литейной машины (ч) (<map> – соответствие: *mark* → время)

- <list>*Moulds*(*cm*) – список оснасток, подходящих для литейной машины

- *Mould*0(*cm*) – оснастка, установленная на литейную машину в начале планируемого периода

- *Tremould*(*cm*) – время переоснастки (ч) (~ несколько часов)

- *LenghtBlankMax*(*cm*) – максимальная длина заготовки (мм)

- *R*(*cm*) – общее число ремонтов литейной машины в месяц

- <list>*TSr*(*cm*) и *TFr*(*cm*) – время начала и окончания ремонта *r* = 1, …, *R*(*cm*)

- *nSNIFClean*(*distr*) – количество чисток SNIF в месяц

- *Tsnif*(*distr*) – время на чистку SNIF

- *nPDBFClean*(*distr*) – количество чисток PDBF в месяц

- *Tpdbf*(*distr*) – время на чистку PDBF

- *nCrystChange*(*distr*) – количество замен кристаллизатора в месяц

- *Tcryst*(*distr*) – время на замену кристаллизатора

**Объект**: линия гомогенизации и резки *hc*

**Известные параметры** линии гомогенизации и резки:

- <list>*CU*(*hc*) – список литейных агрегатов (может быть 2 ЛА)

- <map>*Tload*(*hc*, *diameter*) – время загрузки слитка в печь гомогенизации (ч)

- <map>*vcut*(*hc*, *diameter*, *length*) – скорость резки (резов в ч)

- *R*(*hc*) – общее число ремонтов литейной машины в месяц

- <list>*TSr*(*hc*) и *TFr*(*hc*) – время начала и окончания ремонта *r* = 1, …, *R*(*hc*)

- *LenghtBlankMin*(*hc*) – минимальная длина заготовки (мм)

- *LenghtBlankMax*(*hc*) – максимальная длина заготовки (мм)

**Объект**: оснастка *mould*

**Известные параметры** оснастки:

- *CastHouse*(*mould*) – литейное отделение

- *CM*0(*mould*) – литейная машина, на которой установлена оснастка в начале планируемого периода (0, если свободна)

- *Form*(*mould*) – форма

- *Width*(*mould*) – ширина (мм) (для SLABS и T-BARS)

- *Height*(*mould*) – высота (мм) (для SLABS и T-BARS)

- *Diameter*(*mould*) – диаметр (мм) (для BILLETS)

- *Resource*(*mould*) – текущий ресурс оснастки (оставшееся количество ходок)

- *ResourceMax*(*mould*) – максимальный ресурс оснастки

- *Tprepare*(*mould*) – время подготовки оснастки к работе

- <map>*vcast*(*cm*, *prod*) – скорость литья (т/ч)

- <list>*nBlanks*(*mould*) – количество одновременно отливаемых заготовок (список чисел)

**Объект**: фильтр *filter*

**Известные параметры** фильтра:

- *CastHouse*(*filter*) – литейное отделение

- *State*0(*filter*) – состояние готовности фильтра в начале планируемого периода (занят ЛА – engaged, готовится – preparing, готов к разогреву – prepared, разогревается – heating, разогрет – ready, устанавливается на ЛА – installing)

- *CU*0(*filter*) – литейный агрегат, на котором установлен фильтр в начале планируемого периода (если *State*0 = engaged)

- *Heater*0(*filter*) – Разогреватель, на котором установлен фильтр в начале планируемого периода (если *State*0 = heating)

- *T*0(*filter*) – время готовности фильтра к установке в начале планируемого периода

- *Resource*(*filter*) – текущий ресурс фильтра (%)

- *ResourceOver*(*filter*) – допустимый перерасход ресурса фильтра (%) (~2%)

- *ChMark*(*filter, mark*1*, mark*2) – допустимые переходы от марки *mark*1 к марке *mark*2 без промывки фильтра (*true*/*false*)

- *Tchange*(*filter, mark*1*, mark*2) – время промывки фильтра при переходе между марками(ч)

- *Tprepare*(*filter*) – время подготовки фильтра к работе (ч) (~ 7-8 суток)

- *Theat*(*filter*) – время разогрева фильтра (ч) (~ 3 суток)

- *Tinstall*(*filter*) – время установки фильтра (ч) (~ 6 ч)

**Объект**: разогреватель фильтров *heater*

**Известные параметры** разогревателя:

- *CastHouse*(*heater*) – литейное отделение

- *State*0(*heater*) – состояние готовности разогревателя в начале планируемого периода (занят – engaged, готов – ready)

- *T*0(*heater*) – время готовности разогревателя в начале планируемого периода

**Объект**: план на выливку электролизера *electr* (в отдельную смену)

**Известные параметры** электролизера:

- *CastHouse*(*electr*) – литейное отделение

- *Day*(*electr*) – день

- *Shift*(*electr*) – смена

- *V*(*electr*) – план по объему (т)

- <map>*El*(*electr*, *element*) – план по содержанию химического элемента *element* (значения: *Fe*, *Si*, *Cu*, *Mg*, *Mn*, *Ti*) в электролизере (<map> – соответствие: *element* → содержание в %)

1. **Математическая модель процесса литья**
   1. **Общее описание модели**

Целью математической модели.

* 1. **ФОРМАЛЬНОЕ описание модели**

**Объект**: ходка (плавка) *cast*

**Известные параметры** ходки:

- *Prod*(*cast*) – продукт, производимый в ходке. Используемые параметры продукта:

- <map>*El*min(*prod*, *element*) – минимальное содержание химического элемента *element* в продукте (<map> – соответствие: *element* → содержание в %)

- <map>*El*max(*prod*, *element*) – максимальное содержание химического элемента *element* в продукте (<map> – соответствие: *element* → содержание в %)

- *Cob*(*prod*) – коэффициент расхода сырца

- *k*(*cast*) – ЛА, на котором выполняется ходка. Используемые далее параметры ЛА:

- *Vmixer*(*k*) – объем миксера (т)

- *Vrest*(*k*) – минимальный объем «болота» по паспорту ЛА (т)

- <map>*El*%(*k*, *element*) – возможности ЛА по уменьшению примеси *element* в сплаве (<map> – соответствие: *element* → возможности по уменьшению в %)

- <map>*Elrest*(*cast*, *element*) – содержание примесей в «болоте», оставшемся после предыдущей ходки или промывки миксера (<map> – соответствие: *element* → содержание в %)

- *PrevCast*(*cast*) – предыдущая ходка

- *Day*(*cast*) – день

- *Shift*(*cast*) – смена

- структура ходки:

- *Blanks*(*cast*) – количество занятых кристаллизаторов на литейной машине

- *Ingots*(*cast*) – количество слитков в одной заготовке

**Вычисляемые параметры** (на основе известных) ходки:

- *LengthBlank*(*cast*) – длина заготовки (мм):

- *V*(*cast*) – объем ходки для плоских слитков SLABS (т):

- *V*(*cast*) – объем ходки для Т-образной чушки T-BARS (т):

- *V*(*cast*) – объем ходки для цилиндрических слитков BILLETS (т):

- *Vcob*(*cast*) – требуемый расход сырца ходки (т):

**Искомые параметры** ходки:

- <list>*E*(*cast*) – список электролизеров, из которых поступает сырец для данной ходки

- <map>*VE*(*cast, electr*) – объем сырца, забираемый у каждого электролизера *electr* из *E*(*cast*) (<map> – соответствие: *electr* → объем в тоннах)

**Вычисляемые параметры** (на основе искомых) ходки:

- *VE*(*cast*) – суммарный объем сырца из электролизеров *E*(*cast*) (т):

- *Vtotal*(*cast*) – итоговый объем сырца в миксере, вместе с предыдущим «болотом» (т):

- <map>*El*(*cast, element*) – содержание примесей *element* в миксере после заливки сырца из *E*(*cast*), с учетом предыдущего «болота»:

**Ограничения** (взаимосвязь параметров) ходки**:**

**Жесткие:**

1. Забираемый объем из электролизера не может превышать его исходный объем (или текущий объем, если в алгоритме понадобится вычесть часть объема электролизера):
2. Суммарный объем сырца в миксере должен быть не меньше объема требуемого расхода сырца ходки в сумме с объемом «болота», остающегося в миксере после данной ходки:

Или, что равносильно,

1. Суммарный объем сырца в миксере не должен превышать физический объем миксера:
2. Содержание химических примесей в миксере не может превышать установленный ТС предел с определенным допуском по отдельным элементам (за счет возможностей ЛА по уменьшению примесей):

**Нежесткие (штрафные):**

1. Выполнение предыдущего условия (4) без необходимости уменьшения примесей (хотя бы по некоторым элементам) в сплаве средствами ЛА более предпочтительно:
2. Содержание химических примесей в миксере не может быть меньше установленного ТС предела. С помощью легирования можно увеличить содержание отдельных примесей, но это нежелательно: