



About the authors

Konstantin Bogomolov, PhD student, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: matsievsky@newmail.ru

Prof. Sergey Ishanov, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: sergey.ishanov@ya.ru

Prof. Nikolay Kashchenko, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: kaschtschenko@mail.ru

Dr Sergey Matsievsky, ass. prof., I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: matsievsky@newmail.ru

26

УДК 669.18.046.517

С. В. Веревкин, Д. Я. Околот, С. А. Дёмин

ПРИЗНАКИ РАССОГЛАСОВАННОСТИ РАБОТЫ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА

При реализации контактного графика (КГ) работы сложного производственного комплекса постепенно накапливается текущая рассогласованность КГ с фактическим графиком работы. Приведена технология определения признаков начала и окончания основных технологических операций электросталеплавильного комплекса.

The current misalignment of the contact schedule with the actual work schedule is gradually accumulated in implementing the contact schedule of the complicated production complex. The technology of determining the characteristics of the inception and completion in the main technological operations of the electro steel melting complex is presented.

Ключевые слова: производственный комплекс, координация производства, организационно-технологическая система управления, технологическая цепочка, рассогласованность работы оборудования, кластер-анализ, технологическая операция.

Key words: production complex, coordination of production, organizational and technological management system, process chain, equipment mismatch, cluster analysis, technological operation.

Введение

Современный производственный комплекс, как правило, содержит сложное оборудование с широкими технологическими возможностями и оснащен многоуровневой автоматизированной системой управления.



Так, в состав электросталеплавильного цеха № 2 ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» входят две электросталеплавильные печи, две установки продувки стали аргоном (УПСА), две машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) и разливочные площадки (для разливки в изложницы). Для управления таким производственным комплексом необходимо прежде всего решить задачу координации, взаимосвязи работы этого оборудования при выполнении конкретного производственного задания. Для решения задачи координации предложено использовать контактный график (КГ). Под ним понимаем фиксированную во времени последовательность работы основного производственного оборудования комплекса. Математически КГ описывается детерминированными линейными динамическими моделями первого порядка в многомерном пространстве непрерывных состояний и дискретном времени. В основе формирования такого графика работы оборудования лежит нормативно-логическое линейное описание процессов [1–3].

В ходе реализации управления организационно-технологической системой постепенно накапливается текущая рассогласованность планового расписания и фактического графика работы производства. К причинам этого явления для условий сталеплавильного производства относятся: переназначение марок сталей по химическому составу; отклонение фактической температуры стали от заданной; изменение состава и параметров плановых простоев оборудования с учетом текущего состояния организационно-технологической ситуации (ОТС); изменение ограничений материально-технического характера; изменение ритмичности поставки материалов и отгрузки готовой продукции; изменение температуры окружающей среды; изменение состава оборудования (вариативность) технологической цепочки (например, наличие в ней УПСА, МНЛЗ) и др.

Требование оперативности, эргономичности и высокой достоверности получения информации о текущей рассогласованности работы определяет целесообразность автоматизации этой операции. Для электрометаллургического производства с комбинированной разливкой текущая рассогласованность работы электропечей является определяющей. По каждой печи во временной области она оценивается по разности планируемого и фактического времени выпуска стали. Последний оценивается по окончанию слива стали в ковш по конъюнктивным признакам превышения минимального расхода электроэнергии за плавку, отключения электропитания дуг, наклона печи на угол $\alpha > 5^\circ$, последующей выдержки в течении $\tau_{сл} > 4$ мин и дальнейшим возвращением печи в горизонтальное положение с $\alpha \approx 0^\circ$. Автоматическая оценка рассогласованности работы основного оборудования производится и по остальным агрегатам.

Рассмотрим основные признаки начала и окончания периодов и операций при выплавке стали, по которым оценивается рассогласованность работы организационно-технологической системы управления (ОТСУ) указанного выше электросталеплавильного цеха.

**1. Признак окончания выплавки и начала слива стали**

$$\varphi_0^{\Pi}(i, j, \tau) = \varphi_{\alpha}^{\Pi}(i, j, \tau) \cap \varphi_{\varepsilon}^{\Pi}(i, j, \tau),$$

где i – номер плавки; j – номер печи; τ – время;

$$\varphi_{\alpha}^{\Pi}(i, j, \tau) = \begin{cases} 1, & \text{если } \alpha(i, j, \tau) \geq \alpha_{\text{пор}}, \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases}$$

α – угол наклона печи в сторону слива стали; $t_{\alpha} \leq \tau \leq t_{\alpha} + \Delta t$; $\Delta t = 3 \div 4$ мин; t_{α} – момент времени начала наклона печи в сторону слива стали;

$$\varphi_{\varepsilon}^{\Pi}(i, j, \tau) = \begin{cases} 1, & \text{если } A_3(i, j, \tau) \geq A_{\text{эпор}}, \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases}$$

A_3 – расход электроэнергии.

Если печь наклонена в сторону слива стали и расход электроэнергии не менее некоторого минимума, то выплавка окончена:

$$\varphi_0^{\Pi}(i, j, \tau) = 1.$$

2. Признак окончания плавочного цикла – окончания слива стали и начала следующего плавочного цикла

$$\varphi_{\text{оц}}^{\Pi}(i, j, \tau) = \varphi_{\text{шц}}^{\Pi}(i+1, j, \tau) = \varphi_{\sigma}^{\Pi}(i, j, \tau) \cap \overline{\varphi}_{\alpha}^{\Pi}(i, j, \tau) \cap \varphi_j^{\Pi}(i, j, t_j),$$

где

$$\overline{\varphi}_{\alpha}^{\Pi}(i, j, \tau) = \begin{cases} 1, & \text{если } \alpha(i, j, \tau) \approx 0, \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases}$$

$$\varphi_{\alpha}^{\Pi}(i, j, t_j) = \begin{cases} 1, & \text{если } \tilde{J}_A(i, j, \tau) \approx \tilde{J}_B(i, j, \tau) \approx \tilde{J}_C(i, j, \tau) \approx 0, \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases}$$

J_A, J_B, J_C – сила тока в фазе A, B, C ;

$$\tilde{J}_A(i, j, \tau) = (1 - \alpha_j)J(i, j, \tau) + \alpha_j J(i, j, \tau - 1);$$

α_j – коэффициент сглаживания; $\tilde{J}_B(i, j, \tau), \tilde{J}_C(i, j, \tau)$ – аналогично.

Если печь после начала слива возвращена в исходное нулевое положение и электрический ток отсутствует, то слив окончен, предыдущий плавочный цикл завершен и начался новый плавочный цикл:

$$\varphi_{\text{оц}}^{\Pi}(i, j, \tau) = 1.$$

Последний может начинаться с простоя (например, по причине отсутствия шихты).



3. Признак начала завалки

$$\varphi_{\text{нз}}^{\text{П}}(i, j, \tau_{\text{н}}) = \varphi_{\text{нц}}^{\text{П}}(i, j, \tau_{\text{нц}i}) \cap \varphi_{\text{нс}}^{\text{П}}(i, j, \tau_{\text{н}}) \cap \bar{\varphi}_{\text{нз}}^{\text{П}}(i, j, \hat{\tau}_{\text{н}}) \cap \varphi_{\text{вв}}(i, j, \hat{\tau}),$$

где

$$\varphi_{\text{нс}}^{\text{П}}(i, j, \tau_{\text{н}}) = \begin{cases} 1, & \text{если признак отвода свода } D_c(i, j, \bar{\tau}) = 1, \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases}$$

$\tau_{\text{н}} \leq \tilde{\tau} \leq \tau_{\text{н}} + \tilde{t}_{\text{зав min}}$; $\tau_{\text{н}}$ — момент времени начала завалки; $\tilde{t}_{\text{зав min}}$ — минимальная длительность завалки;

$$\bar{\varphi}_{\text{нз}}^{\text{П}}(i, j, \tilde{\tau}_y) = \begin{cases} 1, & \text{если признак отвода свода } \varphi_{\text{из}}^{\text{П}}(i, j, \tilde{\tau}_y) = 0, \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases}$$

$t_{\text{нц}i} \leq \hat{\tau}_{\text{н}} < \tau_{\text{н}}$; $t_{\text{нц}i}$ — момент времени начала данного плавочного цикла; $\hat{\tau}, \hat{\tau}_{\text{н}}$ — переменное время;

$$\varphi_{\text{вв}}(i, j, \hat{\tau}) = \begin{cases} 1, & \text{если } K_{\text{вв}} = 1 \text{ (в замке)}, \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases}$$

$\varphi_{\text{вв}}(i, j, \hat{\tau})$ — признак наличия ключа-бирки высоковольтного выключателя в замке в течение времени $\hat{\tau}$; $K_{\text{вв}}$ — контакт в замке высоковольтного выключателя.

Если новый цикл плавки начался и свод отведен на время большее, чем минимальная длительность завалки, а ключ-бирка высоковольтного выключателя в течение этого времени оставался в замке, то (в первом приближении) завалка началась:

$$\varphi_{\text{нз}}^{\text{П}}(i, j, \tau_{\text{н}}) = 1.$$

Итак, условимся период завалки считать начинающимся с первого отвода свода (не для ремонта и до начала горячего периода плавки) на время, большее минимально необходимого для завалки. Хотя высоковольтный выключатель при этом выключен, но ключ-бирка остается в замке.

4. Признак окончания завалки

$$\varphi_{\text{оз}}^{\text{П}}(i, j, \tau_{\text{o}}) = \varphi_{\text{н}}^{\text{П}}(i, j, \tau_{\text{н}}) \cap \bar{\varphi}_{\text{ос}}^{\text{П}}(i, j, \tau_{\text{o}}) \cap \varphi_{\text{вв}}(i, j, \tau_{\text{o}}),$$

где

$$\bar{\varphi}_{\text{ос}}^{\text{П}}(i, j, \tau_{\text{o}}) = \begin{cases} 1, & \text{если } D_c(i, j, \tau_{\text{o}} - 1) - D_c(i, j, \tau_{\text{o}}) = 1, \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases}$$

$\tau_{\text{н}} \leq \tau_{\text{o}}$; τ_{o} — момент времени возвращения свода в исходное (рабочее) состояние.



Если прошел признак начала завалки, свод вернули в рабочее положение, а ключ-бирка высоковольтного выключателя находится в замке, то завалка завершена:

$$\Phi_{03}^{\Pi}(i, j, \tau_0) = 1.$$

Все последующие отводы свода (вплоть до начала горячего периода плавки) считаем не относящимися к завалке.

5. Признак начала плавки (горячего периода)

30

$$\bar{\Phi}_H^{\Pi}(i, j, \tau) = \Phi_O^{\Pi}(i-1, j, t_{0,i-1}) \cap \bar{\Phi}_\alpha^{\Pi}(i, j, \tau) \cap \bar{\Phi}_j^{\Pi}(i, j, \tau),$$

где $\Phi_O^{\Pi}(i-1, j, t_{0,i-1})$ — признак окончания $(i-1)$ -й плавки, сформированный в момент времени $t_{0,i-1}$;

$$\bar{\Phi}_j^{\Pi}(i, j, \tau) = \begin{cases} 1, & \text{если } \Phi_j^{\Pi}(i, j, \tau) = 0, \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases}$$

$$\Phi_j^{\Pi}(i, j, \tau) = \begin{cases} 1, & \text{если } \tilde{J}_A(i, j, \tau) = \tilde{J}_B(i, j, \tau) = \tilde{J}_C(i, j, \tau) = 0, \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases}$$

$$\bar{\Phi}_\alpha^{\Pi}(i, j, \tau) = \begin{cases} 1, & \text{если } \Phi_\alpha^{\Pi}(i, j, \tau) = 0, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Если закончена предыдущая плавка, печь в рабочем положении (наклона нет) и имеется ток хотя бы на одной фазе, то плавка началась:

$$\Phi_H^{\Pi}(i, j, \tau) = 1.$$

Иными словами, начался период расплавления (горячий период плавки), но не новый цикл (начинается раньше и включает подготовку печи, завалку).

6. Признак начала первой или второй подвалки

$$\Phi_{\text{нп}}^{\Pi}(i, j, \tau_{\text{п}}) = \Phi_{\text{н}}^{\Pi}(i, j, t_{\text{н},i}^{\Pi}) \cap \Phi_{\text{эп}}^{\Pi}(i, j, \tau_{\text{п}}) \cap \Phi_j^{\Pi}(i, j, \tau) \cap \Phi_{\text{нс}}^{\Pi}(i, j, \tau_{\text{п}}) \cap \Phi_{\text{вв}}^{\Pi}(i, j, \tau),$$

где $t_{\text{н},i}^{\Pi}$ — момент времени начала плавки (горячего периода);

$$\Phi_{\text{эп}}^{\Pi}(i, j, \tau_{\text{п}}) = \begin{cases} 1, & \text{если } A_{\text{эппор}}(i, j, \tau_{\text{п}}) \geq A_{\text{эппор}}(\gamma), \text{ где номер подвалки } \gamma = 1, 2, \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases}$$

$$\Phi_{\text{нс}}^{\Pi}(i, j, \tau_{\text{п}}) = \begin{cases} 1, & \text{если } D_c(i, j, \tilde{\tau}) = 1, \tau_{\text{п}} \leq \tilde{\tau} \leq \tau_{\text{п}} + \tilde{t}_{\text{подв min}}, \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases}$$

$\Phi_{\text{нс}}^{\Pi}(i, j, \tau_{\text{п}})$ — признак отведенного состояния свода (для подвалки).



Если горячий период плавки начался, расход электроэнергии не менее некоторого первого (второго) минимума, ток отключен, свод отведен на время не меньше, чем минимально необходимое для завалки, а в течение него ключ-бирка высоковольтного выключателя остается в замке, то в первом приближении началась первая (вторая) подвалка:

$$\varphi_{ин}^{\Pi}(i, j, \tau_n) = 1.$$

7. Признак окончания первой или второй подвалки

$$\varphi_{оп}^{\Pi}(i, j, \tau) = \varphi_{н}^{\Pi}(i, j, \tau_n) \cap \bar{\varphi}_{пс}^{\Pi}(i, j, \tau_0) \cap \bar{\varphi}_j^{\Pi}(i, j, \tau),$$

где

$$\bar{\varphi}_j^{\Pi}(i, j, \tau) = \begin{cases} 1, & \text{если } \tilde{J}_A(i, j, \tau) = \tilde{J}_B(i, j, \tau) = \tilde{J}_C(i, j, \tau) \neq 0, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Если было зафиксировано начало подвалки, свод наведен (возвращен в исходное состояние) и ток включен, то подвалка завершена:

$$\varphi_{оп}^{\Pi}(i, j, \tau) = 1.$$

8. Признак окончания заливки жидкого чугуна

$$\varphi_{оз}^{\Pi}(i, j, t_{он,i}) = \varphi_{оп}^{\Pi}(i, j, t_{он,i}) \cap \varphi_{ор}^{\Pi}(i, j, t_{он,i}) \cap \bar{\varphi}_{пс}^{\Pi}(i, j, \tau_0), \quad \tau_0 \geq t_{он,i},$$

где

$$\varphi_{ор}^{\Pi}(i, j, \tau_{он,i}) = \begin{cases} 1, & \text{если } \tilde{T}_{ор}(i, j, \tau_0 + \theta) - \tilde{T}_{ор}(i, j, t_{нф}) \geq \Delta \tilde{T}_{оенор}, \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases}$$

$\tilde{T}_{ор}(i, j, \tau) = (1 - \alpha)T_{ор}(i, j, \tau) + \alpha \tilde{T}_{ор}(i, j, \tau - 1)$; $(t_{о,i} + \theta) \geq \tau \geq t_{оз,i}$; $t_{о,i}$ — момент начала плавки; $\theta = 10 \div 15$ с; $T_{ор}(i, j, \tau)$ — температура отходящих газов в момент времени τ ; $\tilde{T}_{ор}(i, j, \tau - 1)$ — то же в момент времени $(\tau - 1)$; $t_{оз,i}$ — момент времени окончания завалки; $t_{нф} = t_{ини} - \theta_{ф}$ — максимальная длительность отвода сода; τ_0 — момент возвращения свода в исходное (рабочее) состояние; $t_{оп}$ — момент времени окончания подвалки.

Если подвалка закончена и скорость роста температуры отходящих газов больше пороговой, то в конце подвалки имела место заливка чугуна:

$$\varphi_{оз}^{\Pi}(i, j, t_{он,i}) = 1.$$

Заключение

Подобным образом определяются признаки начала и завершения других периодов и операций технологического процесса (внепечной обработки, разливки и отгрузки). Признаки формируются в подавляющем большинстве случаев автоматически, что обеспечивает высокий



уровень объективности получаемой информации. При необходимости ручного ввода организуется система стимулирования. Например, признак начала обработки плавки на установках продувки стали азотом (аргоном) (УПСА) в электросталеплавильном цехе ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» вводится вручную мастером. Система управления продувкой стали в ковше остается заблокированной до ввода информации о начале обработки плавки либо опробования работы узлов УПСА.

Для определения степени раскоординации производства необходимо оперативное сравнение фактического выполнения всех работ КГ с планом. Поскольку для групп родственных марок стали имеются плановые выплавки с указанием времени начала и окончания основных периодов плавки стали, то по ходу процесса можно сравнивать эти моменты времени (план с фактом). Появляющееся рассогласование анализируется. Так оценивается накапливающееся отклонение с отнесением его на конец выплавки, то есть осуществляется прогноз развития ОТС.

Аналогично оценивается степень раскоординации на других этапах производства. Сравняется как рассогласование внутри каждой производственной операции, так и в целом операций и периодов.

Наличие признаков начала и окончания элементов технологического процесса позволяет создавать и пополнять банк данных о фактически имевших место графиках выполнения работ (фактических КГ). Предлагается формировать банк данных о рационально проведенных плавках. Для этого по каждой плавке дополнительно оцениваются текущие значения целевых переменных, которые сравниваются с их заданными значениями. Если по всем целевым переменным фактические значения не хуже допустимых, то реализованный циклический процесс признается рациональным. После ретроспективного улучшения управлений он поступает в банк данных. Туда же заносятся признаки ОТС, имевшей место при реализации данного процесса.

Множество фактических КГ, хранящихся в банке данных, с использованием кластер-анализа по признакам ОТС разбиваются на классы. В них соответствующие начала и окончания периодов и операций усредняются, образуя базовые значения характерных точек для КГ данного класса ОТС. Подобный КГ является основой для синтеза КГ по предыстории.

Список литературы

1. *Медведев И. А., Бельгольский Б. П., Зайцев Е. П.* Организация, планирование и управление производством на металлургических предприятиях. Киев ; Донецк, 1984.
2. *Кулаков С. М., Веревкин С. В.* Формирование и реализация программ координатии сталеплавильного комплекса // Изв. вузов. Черная металлургия. 2002. № 4. С. 38–43.
3. *Веревкин С. В.* Формирование контактного графика в параллельно-последовательных системах // Информационные технологии в экономике, промышленности и образовании : сб. науч. тр. Кемерово, 2000. С. 18–24.



Об авторах

Сергей Валерьевич Веревкин — канд. техн. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: verevkinserg@mail.ru

Денис Ярославович Околот — преп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: dokolot@kantiana.ru

Сергей Александрович Дёмин — ст. преп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: sergeidemin@nm.ru

33

About the authors

Dr Sergey Vervovkin, ass. prof., I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: verevkinserg@mail.ru

Denis Okolot, instructor, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: dokolot@kantiana.ru

Sergey Demin, high instructor, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: sergeidemin@nm.ru

УДК 531.3

А. В. Борисов

ЭМПИРИЧЕСКИЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ ДВИЖЕНИЕМ ЭКСОСКЕЛЕТА

Представлены два возможных подхода к управлению движением экзоскелета. Первый — заключается в эмпирическом определении управляющих воздействий на человеке, их усилении и реализации в приводах, расположенных в шарнирах-суставах экзоскелета. Суть второго — в синтезе аналитических функций, обеспечивающих антропоморфные периодические движения экзоскелета. Новизна работы заключается в учете изменения длин звеньев экзоскелета. В качестве численного примера проводится исследование поведения модели с пятью подвижными звеньями. Представлены фазовые портреты основных характеристик движения. Полученные результаты показывают значительные различия между поведением модели при рассмотренных подходах к управлению движением экзоскелета.

The article presents two possible approaches to controlling the movement of the exoskeleton. The first approach is the empirical determination of control actions on a person, their amplification and realization in the drives located in the hinges-joints of the exoskeleton. The essence of the second approach is the synthesis of analytical functions that provide anthropomorphic periodic movements of the exoskeleton. The novelty of the work is to take into account