

## ИНТЕГРИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТЬЮ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова*

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск*

Рассмотрен метод планирования и контроля энергоемкости производственных процессов на основе комплексного анализа данных энергетических обследований и данных эксплуатации.

Предложено использовать методическое, алгоритмическое и программное обеспечение прогнозирования и нормирования энергоемкости производственных процессов на основе комплексного анализа данных энергетических обследований и данных эксплуатации.

Определены зависимости энергоемкости от объемов продукции на основе данных энергетической экспертизы технологического процесса и данных эксплуатации. Рассматривается задача для производственных подразделений – на основе управления технологическими процессами минимизировать потребление ресурсов при заданных уровнях производительности.

На основе рассмотренного подхода к контролю использования энергетических ресурсов в сочетании с Monitoring&Targeting-технологией можно организовать формализованные процедуры последовательного улучшения энергетической эффективности технологических процессов в многоуровневой постановке.

*Ключевые слова: интегрированное планирование ресурсов, энергетическая эффективность, нормирование, прогнозирование.*

### Введение

Управление эффективностью технологическими процессами происходит в рамках организационной структуры промышленного предприятия. В данных структурах для осуществления технологического планирования и контроля производственной деятельности подразделений, как правило, организуется технологическое управление (ТУ). Одной из функций технологического управления является нормирование и контроль потребления ресурсов. С этой целью ТУ исходя из производственного задания на выпуск продукции устанавливает для производственных подразделений плановые показатели потребления ресурсов. По окончании планового периода ТУ осуществляет контроль выполнения отчетных показателей и дает управляющую информацию по устранению отклонений. Общая схема взаимодействия ТУ с производственными подразделениями приведена на рис. 1.

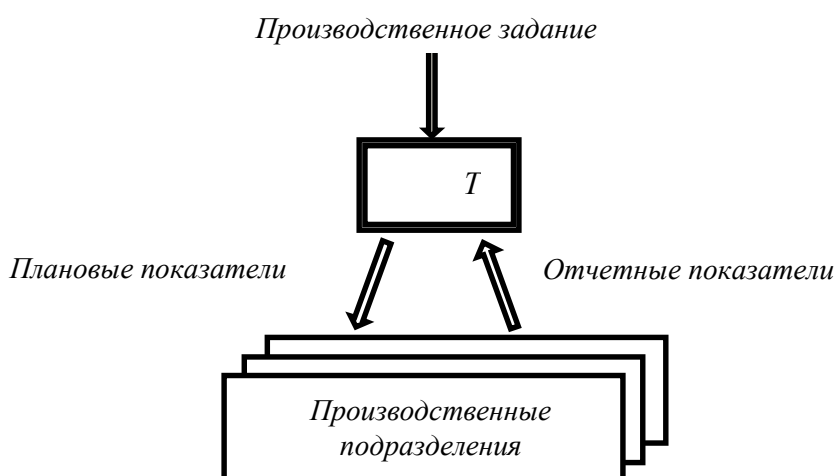


Рис. 1. Схема управления эффективностью подразделений

## Краткие сообщения

На уровне производственных подразделений с точки зрения энергетики ведение технологических процессов характеризуется энергетическими характеристиками. В общем случае энергетические характеристики представляют собой зависимости

$$W_i = F_i(\Pi_i, \mathbf{y}_{Ti}; \mathbf{u}_i, \mathbf{v}_i, \mathbf{z}_i, \mathbf{y}_i), \quad (1)$$

где  $W_i$  – объем потребляемых ресурсов  $i$ -м технологическим процессом;  $\Pi_i$  – объем выпуска продукции;  $\mathbf{y}_{Ti}$  – уставки режимных параметров;  $\mathbf{u}_i$  – управляемые параметры;  $\mathbf{v}_i$  – измеряемые неуправляемые параметры;  $\mathbf{z}_i$  – неизменяемые неуправляемые параметры;  $\mathbf{y}_i$  – выходные параметры.

Для производственных подразделений ставится задача – на основе управления технологическими процессами минимизировать потребление ресурсов при заданных уровнях производительности. Аналитически данное задание можно представить в следующем виде:

$$W_i = \min_{\{\mathbf{u}_i\}} \text{const}_{\{\mathbf{v}_i, \mathbf{z}_i, \mathbf{y}_i\}} F_i(\Pi_i, \mathbf{y}_{Ti}; \mathbf{u}_i, \mathbf{v}_i, \mathbf{z}_i, \mathbf{y}_i). \quad (2)$$

В соотношении (2) параметры  $\mathbf{u}_i, \mathbf{v}_i, \mathbf{z}_i, \mathbf{y}_i$  являются связанными и не определяются на уровне ТУ. Это означает, что управляемые параметры  $\mathbf{u}_i$  определяются на уровне производственных подразделений из условия минимума потребления ресурсов, а процесс управления организован таким образом, чтобы выходные параметры  $\mathbf{y}_i$  в пределах заданных допусков соответствовали требуемым значениям  $\mathbf{y}_{Ti}$  при минимизации влияния возмущающих факторов  $\mathbf{v}_i, \mathbf{z}_i$ . В этом случае на уровне ТУ свободными для выбора являются параметры  $\Pi_i, \mathbf{y}_{Ti}$ . Из них уставки режимных параметров, как правило, выбираются на этапах проектирования и наладки технологического процесса с учетом условия минимизации потребления ресурсов. Поэтому свободным параметром на уровне ТУ часто оказывается только объем продукции. В таком случае объемы потребления ресурсов напрямую зависят от объемов продукции:

$$W_i^{\min} = f_i(\Pi_i). \quad (3)$$

На практике энергетическую эффективность технологического процесса оценивают показателем энергоемкости. Энергоемкость определяется соотношением

$$b_i = \frac{W_i^{\min}}{\Pi_i} = \frac{f_i(\Pi_i)}{\Pi_i} = \varphi_i(\Pi_i). \quad (4)$$

Конкретная зависимость энергоемкости от объемов продукции может быть определена на основе данных энергетической экспертизы технологического процесса и данных эксплуатации. В этом случае определение зависимости (4) может быть выполнено, например, как решение задачи математического программирования:

$$\min_{\{\mathbf{c}_i\}} \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N (b_{is} - \varphi_i(\mathbf{c}_i; \Pi_{is}))^2, \quad (5a)$$

$$b_{ik} \leq \varphi_i(\mathbf{c}_i; \Pi_{ik}) \leq b_{ik} + \Delta b_i, \quad k \in K_{\text{эн}}. \quad (5b)$$

Здесь  $b_{is}, \Pi_{is}$  – данные  $s$ -го наблюдения при эксплуатации значений энергоемкости и объема продукции  $i$ -го технологического процесса соответственно;  $N$  – общее число наблюдений;  $\mathbf{c}_i$  – вектор структурных параметров зависимости  $\varphi_i(\cdot)$  энергоемкости  $b_i$  от объема продукции  $\Pi_i$ ;  $b_{ik}, \Pi_{ik}$  – данные  $k$ -й экспертизы значений энергоемкости и объема продукции соответственно;  $\Delta b_i$  – технологический допуск по энергоемкости;  $K_{\text{эн}}$  – индексное множество энергетических экспертиз.

Постановка задачи (5) состоит из двух частей. Первая часть (5a) представляет собой среднеквадратичную ошибку отклонений фактических данных по энергоемкости от теоретических, предсказываемых зависимостью (5.4) на множестве данных эксплуатации. Вторая часть (5b) представляет собой ограничения на теоретическую зависимость, налагаемые по данным энергетической экспертизы технологического процесса.

На основе решения задачи (5) может быть построена программа прогнозирования и контроля

потребления энергетических ресурсов промышленного предприятия. В качестве примера на (рис. 2) приведена экранная форма отчета о потреблении электроэнергии за отчетный месяц для металлургического предприятия.

Год	Цех	Объем произ-водства план	Объем произ-водства факт	Расход эл. энергии план.	Расход эл. энергии факт.	Удельный расход план	Удельный расход факт	Перерасход электроэнергии	Уд. перерасход, %
2007	ГОП		10282745,0		522727400,0		5083,539		
	ДЦ	9519900,0	9520386,0	79809616,0	79658459,0	838,3	836,715	-155231,357	-0,002
	ИДП		838274,0		117436218,0		14009,288		
	КИП		133697950,0		1550060782,0		1159,375		
	КЮЦ		860028,0		35202228,0		4093,149		
	ККП		5354100,0	24162389,6	282569167,0		5277,622		
	ПВЭС		809862720,0		111932514,0		13,825		
	ТЭЦ	2515080100,0	2515081000,0	286602540,1	290321755,0	11,4	11,543	3719112,342	0,013
	ЦВС		153489,0	33862874,5	34701450,0		22808,428		
	Цех г.л.		5453816,0		436020425,0		7994,777		
	Цех х.л.		2299613,0		197100414,0		8571,025		
	Цех х.п.		361298,0		34400655,0		9521,408		
	ЦЭС		1741494110,0	12700798,0	164918749,0		9,470		
	ЭСПЦ		3184425,0		1001507471,0		31450,182		

Рис. 2. Экранная форма отчета о потреблении электроэнергии

## Выводы

Для эффективной организации интегрированного планирования и управления энергоемкостью технологических процессов металлургического производства в работе предложено использовать методическое, алгоритмическое и программное обеспечение прогнозирования и нормирования энергоемкости производственных процессов на основе комплексного анализа данных энергетических обследований и данных эксплуатации

## Литература

1. Kumar, S.A. *Production and Operations Management* / S.A. Kumar, N. Suresh. – New Age International (P) Ltd., 2009. – 284 p.
2. Modrak, V. *Operations Management Research and Cellular Manufacturing Systems: Innovative Methods and Approaches* / V. Modrak, R.S. Pandian. – IGI Global Snippet, 2011. – 456 p.
3. Gobetto, M. *Operations Management in Automotive Industries: From Industrial Strategies to Production Resources Management, Through the Industrialization Process* / M. Gobetto. – Springer Science+Business Media Dordrecht, 2014. – XXII. – 245 p.
4. *Method of Multilevel Rationing and Optimal Forecasting of Volumes of Electric Energy Consumption by an Industrial Enterprise* / L.S. Kazarinov, T.A. Barbasova, O.V. Kolesnikova, A.A. Zakharova // *Automatic Control and Computer Sciences*. – 2014. – Vol. 48, no. 6. – P. 324–333.

**Казаринов Лев Сергеевич**, д-р техн. наук, профессор, декан факультета «Компьютерные технологии, управление и радиоэлектроника (Приборостроительный)», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; kazarinov@ait.susu.ac.ru.

**Барбасова Татьяна Александровна**, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации и управления, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; barbasovata@susu.ac.ru.

Поступила в редакцию 25 марта 2015 г.

## INTEGRATED CONTROL OF ENERGY INTENSITY OF METALLURGICAL PRODUCTION

**L.S. Kazarinov**, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, [kazarinov@ait.susu.ac.ru](mailto:kazarinov@ait.susu.ac.ru),

**T.A. Barbasova**, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, [barbasovata@susu.ac.ru](mailto:barbasovata@susu.ac.ru)

Questions of the method of planning and control of power intensity of productions on the basis of the complex analysis of these power inspections and data of operation are considered.

It is offered to use methodology, algorithms and software of forecasting and rationing of energy intensity on the basis of the complex analysis of energy inspections and operation data.

Dependences the energy intensity on production volumes on the basis of data of power examination of technological process and data of operation are defined. The task for production divisions based on management of technological processes to minimize consumption of resources at the set performance levels is considered.

On the basis of the considered approach to control of use of energy resources in combination with Monitoring&Targeting-technology it is possible to organize the formalized procedures of consecutive improvement of power efficiency of technological processes in multilevel statement.

*Keywords: integrated resource planning, energy efficiency, prediction.*

### References

1. Kumar S.A., Suresh N. Production and Operations Management. *New Age International (P) Ltd.*, 2009, 284 p.
2. Modrak V., Pandian R.S. Operations Management Research and Cellular Manufacturing Systems: Innovative Methods and Approaches. *IGI Global Snippet*, 2011, 456 p.
3. Gobetto M. Operations Management in Automotive Industries: From Industrial Strategies to Production Resources Management, Through the Industrialization Process. *Springer Science+Business Media Dordrecht*, 2014, XXII, 245 p. DOI: 10.1007/978-94-007-7593-0
4. Kazarinov L.S., Barbasova T.A., Kolesnikova O.V., Zakharova A.A. [Method of Multilevel Rationing and Optimal Forecasting of Volumes of Electric Energy Consumption by an Industrial Enterprise] *Automatic Control and Computer Sciences*, 2014, vol. 48, no. 6, pp. 324–333. DOI: 10.3103/S0146411614060054

*Received 25 March 2015*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Казаринов, Л.С. Интегрированное управление энергоемкостью металлургического производства / Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 121–124. DOI: 10.14529/ctcr150214

### REFERENCE TO ARTICLE

Kazarinov L.S., Barbasova T.A. Integrated Control of Energy Intensity of Metallurgical Production. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2015, vol. 15, no. 2, pp. 121–124. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr150214