

УДК 681.5.015.23

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА КООРДИНАТНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ПРОИЗВОДСТВ ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**¹Гагарина Л.Г., ²Лебедев А.В.¹Национальный исследовательский университет

«Московский институт электронной техники», Москва, e-mail: gagar@bk.ru;

²АО «Ангстрем-Т», Москва

В статье авторы приводят теоретические попытки обосновать метод координатно-параметрического управления предприятием по производству интегральных схем. На сегодняшний день управление этими предприятиями происходит по отдельным технико-экономическим критериям подсистем предприятия, а не по совокупности технико-экономических критериев. Для решения данной проблемы авторы предлагают перейти от координатного (Винеровского) регулирующего управления к управлению координатно-параметрическому, адаптивному. При этом при переходе от классического координатного (Винерского) управления к координатно-параметрическому управлению возникают так называемые кроссированные объекты управления предприятием. Данные кроссированные объекты управления предприятием возникают из-за кроссировки самих подсистем управления предприятиями, т.е. образования между этими подсистемами кроссирующих (от англ. cross – скрещивающий, перекрестный) продольных и поперечных связей (критерий (феномен) координатной неуправляемости по Р. Калману объектов управления). Также в этом случае при антропогенно-социальном характере объектов управления возникает и проблема экономической безопасности предприятия по производству интегральных схем, поэтому целесообразно сначала верифицировать модель управляемого предприятия по производству интегральных схем, а потом перенести полученные результаты в реальный контур управления на само предприятие. Таким образом, актуальной является задача по разработке метода и системы двухконтурного, на основе модели, координатно-параметрического адаптивного управления предприятием по производству интегральных схем.

Ключевые слова: АСУ, АСУ ТП, координатно-параметрическое управление, критерий Р. Калмана**DEVELOPMENT OF THE METHOD COORDINATE-PARAMETRIC
CONTROL AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEM
FOR PRODUCTION OF MICROELECTRONICS PRODUCTS**¹Gagarina L.G., ²Lebedev A.V.¹National Research University of electronic technology, Moscow, e-mail: gagar@bk.ru;²SC Angstrom-T, Moscow

In the article, the authors give theoretical attempts to substantiate the method of coordinate-parametric control of the enterprise for the production of integrated circuits. To date, these enterprises are managed according to separate technical and economic criteria of enterprise subsystems, and not according to a set of technical and economic criteria. To solve this problem, the authors propose to switch from coordinate (Wiener) control to coordinate-parametric, adaptive control. At the same time, when moving from classical coordinate (Wiener) control to coordinate-parametric control, the so-called crossed enterprise control objects arise. These crossed enterprise control objects arise due to the crossover of the enterprise control subsystems themselves, i.e. the formation between these subsystems of cross (from English cross – crossing, cross) longitudinal and transverse connections (criterion (phenomenon) of coordinate unmanageability according to R. Kalman control objects.). Also, in this case, with the anthropogenic-social nature of the control objects, the problem of economic security of the integrated circuit manufacturing enterprise arises, therefore, it is advisable to first verify the model of the managed integrated circuit manufacturing enterprise, and then transfer the results to the real control loop to the enterprise itself. Thus, the task of developing a method and a system of two-circuit, model-based, coordinate-parametric adaptive control of an integrated circuit enterprise is relevant.

Keywords: ASC, Industrial control system, coordinate-parametric control, R. Kalman criterion

Промышленное предприятие по производству пластин с интегральными микросхемами является сложным технологически опасным производством, так как в процессе производства интегральных микросхем используется большое количество различных химических материалов (реактивов, газов), утечки которых при любом сбое производства могут привести к техногенной катастрофе.

В деятельности любого предприятия по изготовлению интегральных схем вы-

деляют множество задач, требующих автоматизации. К таким общим задачам можно отнести: управление производственными ресурсами; управление процессом проектирования интегральных микросхем (ИС); управление качеством продукции (ОТК-1,2) и военная приемка (ОТК-5); планирование и контроль последовательности выполнения производственных (технологических) операций; управления измерениями интегральных схем и пластин; управление материальными и финансовыми ресурсами;

бизнес-планирование и бухгалтерский учет и другие задачи, требующие автоматизации. Для решения задач управления подсистемами промышленного предприятия по производству интегральных схем используются автоматизированные системы, такие как: АСУ производства (MEMS системы; системы управления инженерными и операторскими станциями и оборудованием, SCADA-системы); АСУ логистических систем (транспортировка продукции и материалов); АСУ складского учета; АСУ бухгалтерии и финансово-экономических служб.

На сегодняшний день происходит переход от управления предприятием по от-

дельным технико-экономическим критериям подсистем предприятий (случай АСУ/АСУП) [1] к управлению по совокупности технико-экономических критериев – т.е. управлением предприятием комплексно.

Разработка формализованного представления комплексного управления предприятием

ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [2] определяет главную функцию АСУ П как комплексное управление производством для повышения выхода годных. Эту задачу с необходимостью можно представить в виде задачи нелинейного программирования [3]:

$$\left. \begin{aligned} P(I, W, C, S, K_{\text{пр}}) &= \max; \\ N(I, W, C, S, K_{\text{пр}}) &= N_{\text{зад}}; \\ O_{\text{пу}} &= \frac{P}{I}(I, W, C, S, K_{\text{пр}}, \dots) > 1 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$G_{21} \left[n_k, n; x_c^j, y_{\text{п}}^j; \Delta_{\text{н}}^j, \Delta_{\text{в}}^j; f_j(x_j), \varphi_j(\Delta_j); j = 1 \div n_k \right] \leq (G_{21})_{\text{зад}}. \quad (2)$$

1. Целевые функции моделей управляемого предприятия и контроля производимых изделий: Р (результатирующее воздействие), N (количество произведенных изделий), $O_{\text{пу}}$ (показатель устойчивости) и G_{21} {риск заказчика [4] [вероятность (доля) пропускаемых к заказчику дефектных изделий]}.

2. Управляющие переменные модели:

а) координата I (инвестиции);

б) параметры W, C, S, $K_{\text{пр}}$ [коэффициент выхода годных изделий, цена, себестоимость, коэффициент спроса].

3. Управляющие переменные (параметры) аналитической модели контроля произведенных изделий: n_k и n (количество контролируемых и общее количество параметров изделия); $x_{\text{с}}^j$ и $y_{\text{п}}^j$ (сдаточная и производственная нормы контроля); $\Delta_{\text{н}}$ и $\Delta_{\text{в}}$ (нижнее и верхнее значения погрешностей Δ компараторов); $f_j(x_j)$ и $\varphi_j(\Delta_j)$ (плотности распределения контролируемых величин x_j и погрешностей Δ_j компараторов).

При этом необходимо учитывать риски заказчика [5] (G_{21}), которые можно определить с помощью следующей формулы:

$$G_{21} = \prod_{j=1}^{n_k} (p_j - \gamma_{12}^j + \gamma_{21}^j) - \prod_{j=1}^{n_k} (p_j - \gamma_{12}^j),$$

где n_k – число контролируемых параметров;

n – общее число параметров изделия;

γ_{12}^j и γ_{21}^j – риск изготовителя и заказчика по j-му параметру контроля изделия.

Разновидности рисков:	Выражение для рисков:
а) поставщика Υ_{12} б) потребителя Υ_{21} По нижней границе	$\int_{x_c}^{\frac{y_n - \Delta_h}{k}} f(x) dx \int_{\Delta_h}^{y_n - kx} \varphi(\Delta) d\Delta$
а) поставщика Υ_{12} б) потребителя Υ_{21} По верхней границе	$\int_{\left(\frac{y_n - \Delta_v}{k}\right)}^{x_c} f(x) dx \int_{y_n - kx}^{\Delta_v} \varphi(\Delta) d\Delta$

Получается более 100 управляющих переменных (аргументов) нелинейного программирования и необходимость (при определении риска G_{21}) многократного вычисления двойных интегралов

Таким образом, проблемная ситуация заключается в том, что управление предприятием производством изделий микроэлектроники с применением существующих АСУ/ АСУ ТП оказывается чрезвычайно сложным, так как в процессе отсутствуют аналитические модели управляемого предприятия и контроля производимых изделий. При этом если модель контроля производимых изделий (2) хотя и чрезвычайно сложна, но описана в литературе, то модель управляемого предприятия (1) вовсе отсутствует.

Целью данной работы является разрешение вышеописанной проблемной ситуации с помощью соответствующих методов и средств управления АСУ П, в частности метода координатно-параметрического управления, предложенного авторами и описываемого далее в тексте работы.

В выражении (1) наряду с управляющими координатами используются управляющие параметры. То есть происходит переход от управления предприятием по отдельным технико-экономическим критериям

(случай АСУ ТП) к управлению предприятием по совокупности технико-экономических критериев.

Данный подход сопровождается операцией кроссирования подсистем предприятий, т.е. образования между ними кроссирующих (от англ. cross – скрещивающий, перекрестный) продольных и поперечных связей, и, соответственно, сопровождается образованием кроссированных объектов управления предприятия (рис. 1) [5].

Таким образом, образуются связи: основная – кроссируемая подсистема с подсистемами вспомогательными – кроссирующими.

При этом операция кроссирования сопровождается сохранением связей «продольных» и образованием новых связей – «поперечных». В результате отмечается превалирование числа выходных переменных кроссированного объекта над числом его входных переменных, назовем такое состояние кроссированного объекта свойством выходной мажоритарной мультиплицированности объектов управления.

Рассмотрим теперь блочную схему кроссированных объектов управления в системе обозначений теории многосвязного управления М.В. Меерова – М. Месаровича (рис. 2).

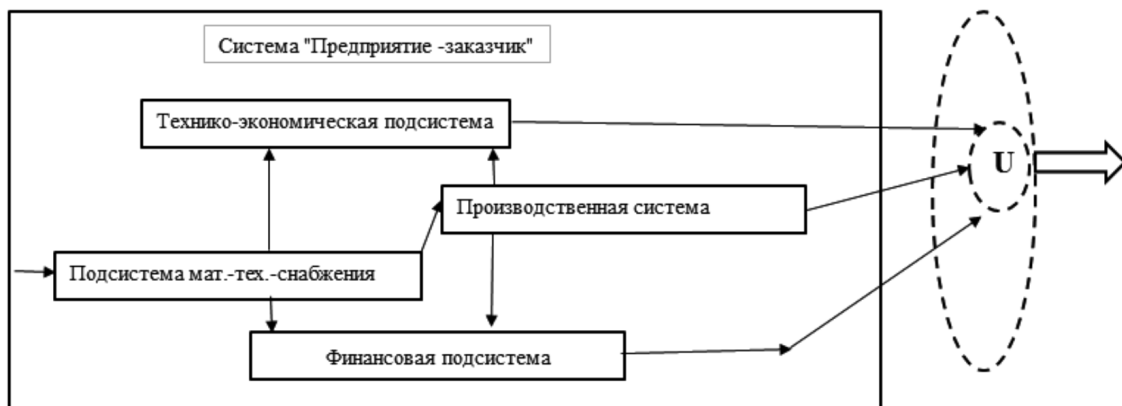


Рис. 1. Графическое отображение образования кроссированных объектов ERP-управления

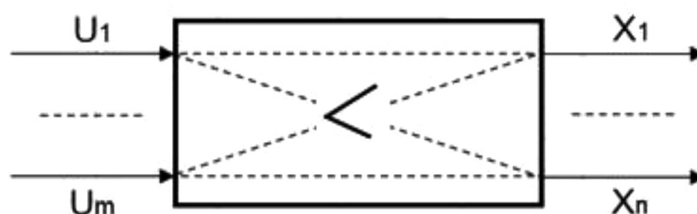


Рис. 2. Мажорирование ($>$) m входных переменных U n выходными переменными X

Порождаемое представленной кроссировкой объектов управления свойство выходной мажоритарной мультиплицированности объектов управления, в свою очередь, приводит эти объекты к координатной неуправляемости по Р. Калману [6]. Речь идет о неуправляемости именно координатной, а не параметрической, т.е. при обращении к управляющим параметрам координатно неуправляемых объектов они становятся уже управляемыми.

Это означает, что для управления предприятием по производству пластин с интегральными микросхемами возможности координатного (Винеровского) управления оказываются исчерпанными. Сложившаяся ситуация разрешается с помощью привлечения управляющих параметров наряду с имеющими место управляющими координатами, т.е. переходом от управления координатного к управлению координатно-параметрическому. Однако известные методы и системы координатно-параметрического (адаптивного) управления академика Б.Н. Петрова и профессора В.Ю. Рутковского для управления предприятием по производству пластин с интегральными не применимы по следующим причинам:

1) техногенный характер известных методов и систем не учитывает проблемы безопасности управления: в процессе производства пластин с интегральными микросхемами используются различные химические материалы, реактивы, газы, утечка (выброс) которых может негатив-

но сказаться на состоянии природной среды (привести к техногенной катастрофе);

2) управляющие воздействия являются параметрическими.

Выходом из сложившейся ситуации для управления предприятием по производству ИМЭ является использование метода координатно-параметрического управления на модели предприятия [7]: все воздействия на объект управления – предприятие, как ранее было показано из-за техногенного характера объекта, осуществляются на этой модели управления с последующей верификацией и переносом полученных результатов в реальный контур управления – на само предприятие.

Координатно-параметрическое управление предприятием производства изделий микроэлектроники

Рассмотрим процесс координатно-параметрического управления предприятием.

Функциональная схема двухконтурного управления предприятием представлена на рис. 3.

На основе представленной на рис. 3 функциональной схемы двухконтурного управления предприятием построим блочную замещающую модель объекта [8] координатно-параметрического управления (рис. 4). В данном случае модель, на которой выделены неявно содержащиеся в функциональной схеме, представленной на рис. 3, основные связующие компоненты описываемого ниже метода координатно-параметрического управления.

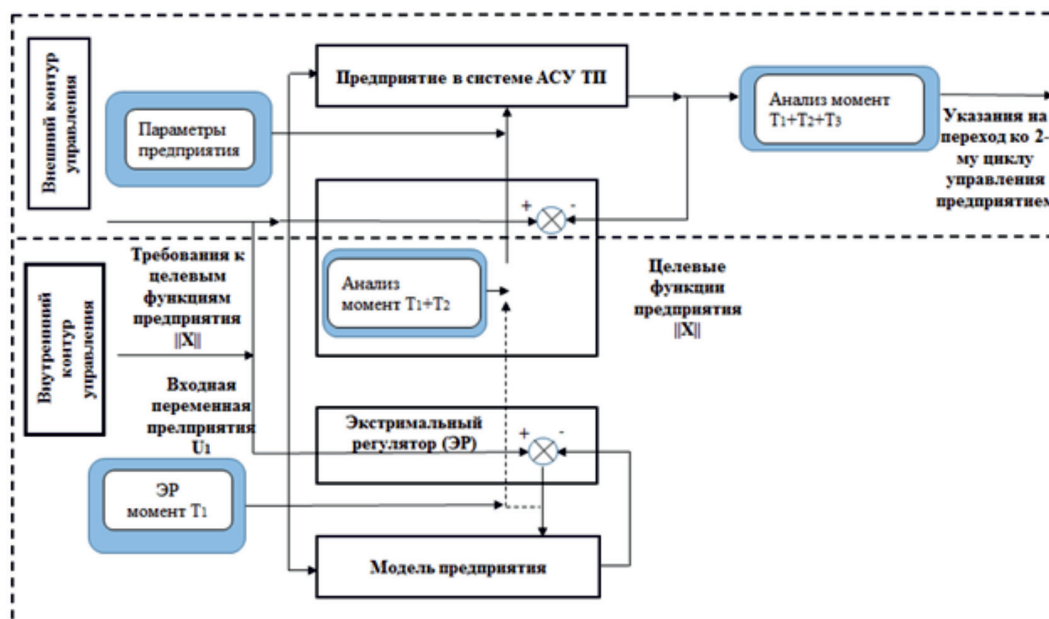


Рис. 3. Функциональная схема двухконтурной системы координатно-параметрического (адаптивного) управления предприятиями

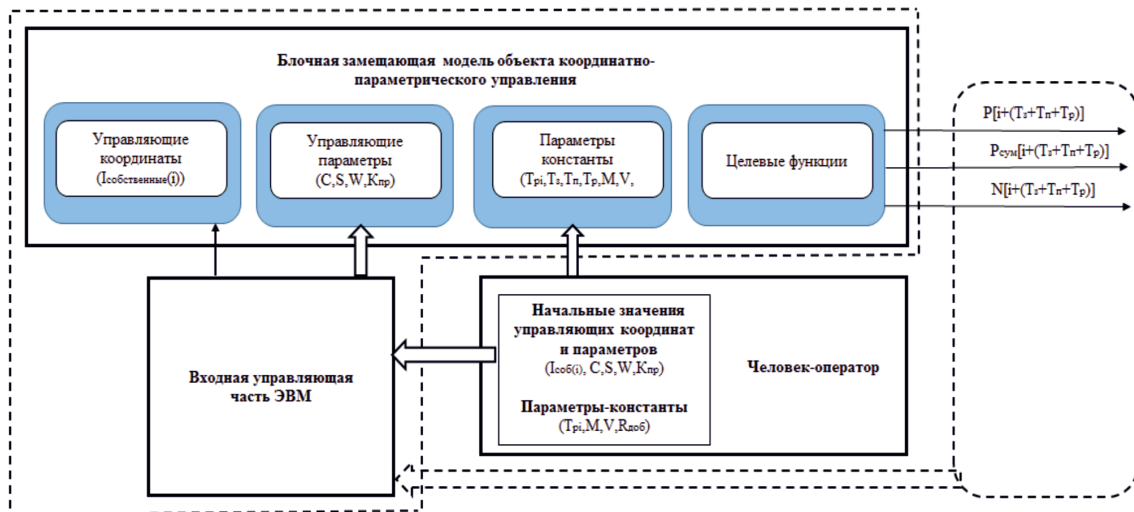


Рис. 4. Блочная модель объекта координатно-параметрического управления

На рис. 4 представлена блочная замещающая модель объекта координатно-параметрического управления.

Описываемый метод координатно-параметрического управления на технико-экономической модели [9] предприятия производства интегральных схем, представленный на рис. 4, может быть описан как:

1. Человек-оператор вводит в ЭВМ начальные условия управления:

а) средние значения и пределы изменения управляющих координат [собственные $I_{\text{соб}}(i)$ и заёмные $I_{\text{кр}}(i)$ инвестиции] [9] и параметров цена интегральных схем C , их себестоимость S , коэффициент выхода годных интегральных схем W и коэффициент их продажи (доля проданных) интегральных схем $K_{\text{кр}}$] системы;

б) значения параметров-констант системы (коэффициент распределения инвестиций по тактам $T_{\text{ри}}$, M – доля «материалов», V – доля переменных затрат на производство, ставка налога на добавленную стоимость на «материалы» $R_{\text{доб}}$, времена выполнения действий моделей стадий запуска $T_{\text{з}}$, изготовления ИС $T_{\text{п}}$ и реализации произведенных интегральных схем $T_{\text{р}}$).

2. ЭВМ осуществляет допустимые [в соответствии с условиями п. 1а)] изменения управляющих координат и параметров в n точках каждого из этих воздействий.

3. При этом допустимые изменения управляющих координат и параметров 1а) в ЭВМ продаются на соответствующие входы блочной замещающей модели объекта координатно-параметрического управления.

4. Полученные в результате компьютерного воздействия модели п. 3) значения целевых функций системы {результиро-

ующее воздействие $P[i+(T_{\text{з}}+T_{\text{п}}+T_{\text{р}})]$, суммарное воздействие $P[i+(T_{\text{з}}+T_{\text{п}}+T_{\text{р}})]$, выход годных интегральных схем $N[i+(T_{\text{з}}+T_{\text{п}})]$ } после верификации человеком-оператором, распечатываются.

При использовании данного метода управления появляются (возникают) интересные особенности управлением предприятия, влияющие на его финансовые показатели [10].

1. При уменьшении себестоимости изделий на 20% при неизменной цене, суммарное воздействие, которое в денежной форме можно представить как доход предприятия ($P_{\text{д}}$), увеличивается на 15–17%.

2. При увеличении цены на 20% при неизменной себестоимости изделий суммарное воздействие, которое в денежной форме можно представить как доход предприятия, увеличивается на 8–10%.

Опишем данные воздействия с помощью формулы:

$$P_{\text{д}} = N_0 WK(C - S),$$

где W – коэффициент выхода годных; K – общее число кристаллов на 1-й полупроводниковой пластине; N_0 – общее число произведенных полупроводниковых пластин с кристаллами (wafers with dies).

3. При увеличении входных инвестиций (управляющих координат) и увеличении выхода годных (управляющие параметры) суммарное (итоговое), которое в денежной форме можно представить как доход предприятия, увеличится на 5–7%.

Таким образом, уменьшение себестоимости путем оптимизации затрат, материалов, накладных расходов во много раз эффективнее, чем увеличение цены изделия

и увеличение входных инвестиций [11]. Другим важным фактором, влияющим на суммарное воздействие, является повышение уровня выхода годных, благодаря которому сокращается количество материалов для изготовления изделий.

Заключение

На основе анализа существующих способов управления предприятиями производства по изготовлению интегральных схем предложено формализованное представление задачи комплексного управления предприятием с целью повышения выхода годных в условиях автоматизации производства и метод координатно-параметрического управления, предусматривающий использование внутреннего контура (техничко-экономическая модель предприятия) и внешнего контура управления (передача полученных результатов лицу, принимающему решение (ЛПР)). ЛПР передаются результаты моделирования воздействий на технико-экономическую модель предприятия для переноса оптимальных воздействий во внешний контур – само предприятие.

Список литературы

1. Тимофеева С.С. Методы и технологии оценки аварийных рисков: практикум. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2015. 155 с.
2. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы менеджмента качества.
3. Болиева И.А., Панкратов С.В. Модели формирования эффективной среды управления промышленным предприятием // «Молодой ученый». 2016. № 26 (130). С. 254–256.
4. Королькова Е.М. Риск-менеджмент: управление проектными рисками: учебное пособие для студентов экономических специальностей. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. 160 с.
5. Лопатина П.А. Управление производственной организацией на основе процессного подхода // Территория науки. 2017. № 1. С. 141–145.
6. Калман Р.Э., Фалиб П.Л., Арбиб М.А. Очерки по математической теории систем: Пер. с англ. / Под ред. Я.З. Цыпкина. Предисл. Э.Л. Наппельбаума. Изд. 2-е, стереотип. М.: Едиториал УРСС, 2004. 400 с.
7. Бондаревский А.С., Лебедев А.В. О необходимости моделирования при параметрическом управлении // Современные наукоемкие технологии. 2011. № 2. С. 17–22.
8. Васильков Ю.В., Василькова Н.Н. Математическое моделирование объектов и систем автоматического управления. М.: Изд-во Инфра-Инженерия, 2020. 428 с.
9. Алпатов Ю.Н. Математическое моделирование производственных процессов. М.: Изд-во Лань, 2018. 158 с.
10. Брянцева Л.В., Макушников Е.С. Теоретические основы эффективного управления развитием организации // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. 2014. № 1. С. 5–9.
11. Вешнева И.В., Мельников Л.А., Немцов А.И. Математическая модель управления функционирования малого предприятия // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2013. № 1. Т. 4. С. 121–128.