

УДК 621.365.065.7.014:621.365.3.014

*Висвітлюються системні завдання та питання релевантності пріоритетних напрямів інформаційного забезпечення інноваційних програм інтенсифікації проведення науково-дослідницьких та дослідно-виробничих робіт з модернізації й технологічного переозброєння електрометалургійних комплексів в умовах діючого виробництва на локальному та організаційно-економічному рівні*

*Ключові слова: стратегія ефективності, інновація, технологія, ідентифікація*

*Освещаются системные задачи и вопросы релевантности приоритетных направлений информационного обеспечения инновационных программ интенсификации проведения научно-исследовательских и опытно-производственных работ по модернизации и технологическому перевооружению электрометаллургических комплексов в условиях действующего производства на локальном и организационно-экономическом уровне.*

*Ключевые слова: стратегия, эффективность, инновация, технология, идентификация*

*System tasks and the relevant priority branches questions of scientific study intensification data support programs are described in this article. It deals with work modernization and technological rearmament of electro metallurgical complexes in conditions of operating production on local and organizational economic level*

*Key words: strategy, efficiency, innovation, technology, identification*

# НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РАЗРЕШЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОБЛЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИИ СТАЛИ И СПЛАВОВ

**И. Д. Труфанов**

Доктор технических наук, профессор\*

Контактный тел.: 050-42-117-24

E-mail: trufanov@zntu.edu.ua

**А. П. Лютый**

Кандидат технических наук, доцент\*

Контактный тел. 061-283-40-22

**К. И. Чумаков**

Ассистент\*

\*Кафедра «Электрические аппараты»\*\*

Контактный тел. 066-55-11-087

E-mail: adlas@mail.ru

**И. А. Андрияс**

Кандидат технических наук, доцент

Кафедра «Электропривод и автоматизация

промышленных установок»\*\*

\*\*Запорожский национальный технический университет

г. Запорожье

**Т. И. Казанская**

Мастер производственного обучения

ВПУ 23

г. Запорожье

**В. В. Джиоев**

Мастер производственного обучения

ВПУ23

г. Запорожье

## Введение

Эффективность работы объектов электрических систем в горно-металлургическом комплексе опре-

деляется содержанием, темпами, и энерго-экономической эффективностью. Такие работы проводятся на ряде электрометаллургических заводов Приднепровского региона, в т.ч. на ведущем Электростале

таллургическом заводе им. А.Н.Кузьмина «Днепро-специсталь», г.Запорожье, на основе Энергетической стратегии Европы, государственной программы энергосбережения, проектов Tab Tacis, региональных программ энергосбережения, в т.ч. «Комплексной программы энергосбережения Запорізької області» при участии как отечественных научно-проектных организаций, так и ряда ведущих зарубежных организаций и фирм (в т.ч. SOFRES Conseil, Clesim, Франция; La Louvelle, Бельгия; Dofaco Hamilton, Канада; Voest Alpline, Австрия; Baoshan, Китай; Nottzstar, Nucor, США; Siederurgia, Бразилия и др.) Ведущими фирмами-производителями электротехнологического оборудования (Degan, Германия; Clesim, Франция; Voest Alpline, Австрия; MAN GHH/ABB, Германия; NKK SEE, Япония и др.) осуществляется поставка электрооборудования для дуговых печей постоянного и переменного тока.

В настоящее время заканчивается выполнение 1-го этапа энергетической стратегии Украины до 2030 г. и на дальнейшую перспективу. В свете её требований региональные программы энергосбережения имеют целью реализацию политики ресурсо- и энергосбережения на основе нормативно-правовой базы энергосбережения, формирования эффективной технико-экономической среды, создания интегрированной и эффективной технологии энергосбережения. Главным заданием Комплексной программы энергосбережения Запорізької області від 1997р. является определение и развитие существующего и перспективного потенциала энергосбережения и разработка дальнейших направлений его реализации в промышленной сфере и сфере услуг и быта. Указанная программа реализуется на основе подобных программ предприятий, организаций, отраслевых управлений и других органов рыночной экономики Запорожского региона (ОАО Запорожнефтепродукт, «Запорожгаз», «Запорожсталь», «Запорожжкокс», «Запорожферросплав», «Днепроспецсталь», «Сталепрокатный завод», «Запорожский железорудный завод»(г.Днепрорудный), «Запорожжогнеупор», «Запорожский титано-магний комбинат», «Укрграфит», «Запорожский алюминевый комбинат», «Запорожабразив», а также предприятия машиностроения и энергетического машиностроения). Указанные предприятия чёрной и цветной металлургии, машиностроения – базовые отрасли промышленности области являются также основными потребителями топлива и энергии.

Исходным потенциалом развития энергосбережения Запорожского региона является потенциал энергосбережения 9,5 – 11,4 млн. т. у. т. [2]. Наибольший вес, (55-60%) как отмечено выше, имеют предприятия чёрной и цветной металлургии, энергетического машиностроения, что обусловлено наличием в большом количестве высокоэнергетических производств и низкими темпами их технологического переоснащения.

#### Постановка задачи исследований

На базе основных стратегических направлений энерго-экономического развития энергетического сектора рыночной экономики Украины [1, 10] для

предприятий чёрной и цветной металлургии определены следующие приоритеты мероприятий по энергоэффективности Запорожского региона: а) в области экономики – внедрение новых энергосберегающих технологий и оборудования; усовершенствования существующих технологий и оборудования; уменьшения энерго- и материалоемкости продукции усовершенствования учёта и контроля за использованием энергоресурсов и контролю состояния топливно-энергетических ресурсов; б) в сфере межотраслевого энергоиспользования и энергосбережения – внедрение средств силовой электроники (регулируемый электропривод, компенсирующие установки, технологические преобразователи); усовершенствование систем теплоснабжения (источники тепла, сети теплоснабжения технологические системы отопления), использование современных экологических эффективных технологий сжигания низкокачественного угля; производство энергии за счет использования вторичных энергоресурсов без добавочного использования (привлечения) первичных энергоресурсов; использование экономических систем и приборов освещения и др., откуда следуют основные задачи повышения энергоэффективности чёрной и цветной металлургии, рассматриваемые авторами настоящей работы: разработка системометодологии создания информационного комплекса для целей его работы в контурах регулирования мощности технологических агрегатов на локальном уровне и на уровне сталеплавильного цеха и завода.

#### Основные результаты и их обсуждение

I. Решение поставленной задачи базируется на основе вышеуказанных директивных материалов [1, 10] по развитию и становлению Энергетической стратегии Украины и на её основе развитию энергоэффективности промышленного комплекса Запорожского региона. Указанные факторы реализуются на основе научно-технологической политики государства, которая охватывает следующие основные механизмы развития фундаментальных и прикладных исследований в горно-металлургическом комплексе промышленности Украины [3]:

- выбор целей научно-исследовательских и конструкторско-технологических работ, их технико-экономической и организационной деятельности, установление системы приоритетов в их достижении;
- формирование, распространение и практическое использование научно-технического потенциала региона, необходимого для достижения ближайших и перспективных целей, программ и задач;
- эффективное взаимодействие всех целей инновационной системы «исследования – разработки – производство – социально-экономическое использование», призванной обеспечить высокую результативность разрабатываемых программ и проектов и повышение конкурентоспособности, масштабы и высокую социальную значимость взаимодействия науки, практики и технологий. Мы исходим из того постулата, что над технологией, в т.ч. технической политики, разумеется процесс, система, содержащая материально-техническую часть, человеческий по-

тенциал, научно-технологические организации, академии и ВУЗы, информационные коммуникации и пр. В этом случае реализуются процессы дальнейшей интеграции научно-технологической политики и транс-формационных процессов развития рыночной экономики.

Указанные процессы обусловлены тем, что научно-технологическая политика является неотъемлемой составляющей всей деятельности государства на достижение поставленных задач и программ (табл. 1[3])

Таблица 1

Оценка типов государственной научно-технологической политики в функции направления научного потенциала на достижение на целей энергоэффективности промышленного производства

Цели	Тип политики		
	консервативный	прогрессивный	наступательный
	Распределение научного потенциала, %		
Поддержка	60	30	10
Эволюционное развитие	35	45	40
Кардинальное обновление	5	25	50

При реализации программ и проектов по реализации конкретных приоритетов следует учитывать адаптационно-корреляционные факторы влияния на научно технологическую политику регионов со стороны ведущих хозяйственных комплексов ведущих зарубежных научных и технологических комплексов.

В данном случае направления реализации научно-практических программ разрабатываются с учётом:

а) собственных инновационных приоритетов по управлению и мониторингу выполнению всех этапов с использованием принципиально новых технологических достижений в чёрной и цветной металлургии;

б) общегосударственных межотраслевых программ выполнения которых существенно влияет на общий технологический уровень экономики, в т.ч. программ информатизации и перехода на современный уровень машинных и телекоммуникаций;

в) приоритетов отраслей, региональных приоритетов, которые отражают общегосударственные и общеэкономические приоритеты при реализации действительных механизмов проведения инновационной политики и практики.

Нами на основе [3] разработана функциональная схема (рис. 1) организационно методического обеспечения реализации приоритетов развития электротехнологической промышленности Запорожского региона.

Ниже рассматриваемые методологические результаты данной работы были синтезированы на основе фундаментальных работ [1-3] в области энергоэффективности горно-металлургического комплекса и

ряда работ авторов данной работы, в т.ч. [4-9], при этом мы руководствовались основными положениями [2, 4, 10]:

- соблюдение требований правил эксплуатации оборудования и коммуникаций энергохозяйства, обязательным контролем затрат энергоносителей на единицу продукции за счёт оптимизации режима загрузки энергокомплексов в функции объемов производства (исключения холостого хода, рационального нагружения в технологических этапов и др.);

- выводов части мощностей предприятия в пиковых законах электропотребления и перехода на дифференциальный тариф;

- внедрения устройств силовой регулируемой электроники;

- усовершенствования организации технологических процессов и реконструкции энерготехнологического оборудования;

- повторного использования энергоносителей и бросовых энергоресурсов и материалов и т.п.

Динамическая модель энергоинформационных потоков электротеплового и электротехнического режимов дуговых печей постоянного и переменного тока показано на рис. 2.

На основе данной модели (рис. 2) ниже рассматриваются энерго-материально-информационные потоки энерго-электротехнологического комплекса дуговой печи 50 т в условиях завода «Днепроспецсталь» им. А.Н.Кузьмина.

А. Определяющими факторами в данном случае являются факторы энерго-информационных связей между технологическим обеспечением ( $S_1$ - связями) и технологическими процессами ( $S_2$  – связями). Оценка  $S_1$ - связей определяет степень влияния стратегии и направления развития электротехнологической промышленности, а  $S_2$  – связей – значимость их реализации. Между ними могут существовать и  $S_3$  – связи, как связи интеграции, аккумулирующей в себе эффективность отрасли в целом. В соответствии с [3, 5, 7] указанные связи осуществляются при последовательной проверке (на алгоритмах линейного программирования [11, 12]) критериев допустимости (КД), т.е. требований, которым должен удовлетворять коэффициент (параметр, фактор) эффективности.

От экстремальных значений КД следует требовать только отсутствие связи между технологическими переделами в случае их технологической несовместимости.

В остальных случаях в группе КД, связанных с видом представлений исходной информации, следует учитывать следующий критерий: коэффициенты должны позволять оценивать близость информационных показателей, описываемых матрицами парных связей  $[x_{ij}^{\ell}]$  (несимметричных в общем случае), а также величинам  $x^{\ell}, y_i^{\ell}, x_i^{\ell}, z_i^{\ell}, z^{\ell}$  где  $x_{ij}^{\ell}$  – объемы поставок энергоносителей и энергоресурсов в единицу времени  $i$ -м предприятием – поставщиком  $j$ -м потребителю,  $\ell$ -го энергопродукта,  $x^{\ell}$  – объем производства, продукта  $\ell$  в структуризованной системе  $y_i^{\ell}$  – объем энергопоставок продукта  $\ell$  предприятием  $i$  за пределы структуризованной системы («экспорт» хозяйственного комплекса;  $x_i^{\ell}$  – объем производства стали цехом  $i$  завода;  $i, j = \ell, n$  ( $n$  – чис-



Рис. 1. Организационно-методическое обеспечение выбора и реализации приоритетов научно-технологического инновационного развития электрометаллургии Запорожского региона. Схема функциональная

ло сталеплавильных цехов);  $\ell = 1, L$  ( $L$  – количество энергопродукции, потребляемой и производимой на заводе;  $y^\ell$  – объем поставок энергоресурсов за пределы цеха; в общем случае имеем систему:  $x_{ij}^\ell \geq 0$ ;  $E \geq 0$ ;  $y_i^\ell \geq 0$ ;  $x_i^\ell \geq 0$ ;

$$\begin{aligned}
 y^\ell &= \sum_{i=1}^n y_i^\ell; \quad x_i^\ell = \sum_{j=1}^n x_{ij}^\ell + y_i^\ell; \quad x^\ell = \sum_{i=1}^n x_i^\ell; \\
 x^\ell &= \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^n x_{ij}^\ell + y_i^\ell \right)
 \end{aligned}
 \tag{1.1}$$

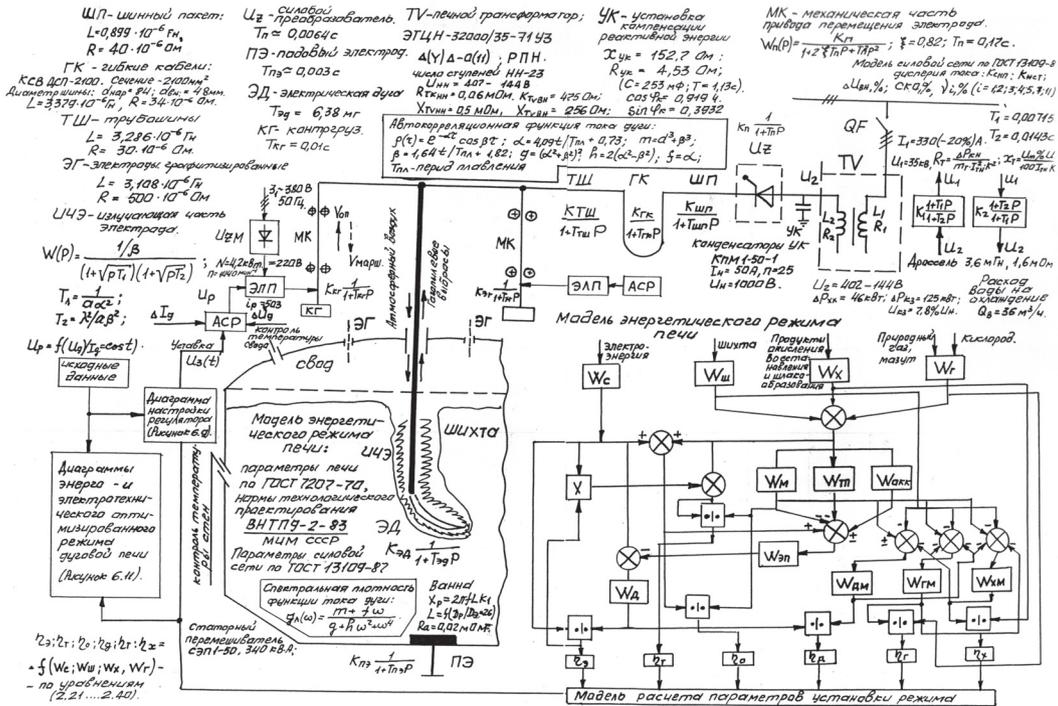


Рис. 2. Динамическая модель электротеплового и электротехнических режимов дуговых печей переменного и постоянного тока

Б. Критерии КД, определяющие структуризацию, в общем случае не обязательно должны быть симметричными. В этом случае мера близости по  $S_1, S_2, S_3$  – связям должна быть симметричной. В этом случае симметризация позволяет учитывать наличие и интенсивность встречных потоков между структурными подразделениями. В то же время они должны обладать алгоритмами простого (линеаризованного) изменения численных характеристик встречных энергопотоков, которые могут быть использованы при описании квазисимметричных (в некоторой степени явно несимметричных связей по 1 – му энергоносителю (продукту):

Для  $S_1$  – связи:

$$\rho_{S_1}^{\ell}(a_i, a_j) = \begin{cases} x_{ij}^1 / x_i^1 + x_{ij}^1 / x_j^1 & \text{при } x_i^1 > 0; x_j^1 > 0; \\ x_{ij}^1 / x_i^1 & \text{при } x_i^1 > 0; x_j^1 = 0; \\ x_{ij}^1 / x_j^1 & \text{при } x_i^1 = 0; x_j^1 > 0. \end{cases} \quad (1.2)$$

Для  $S_2$  – связи:

$$\rho_{S_2}^{\ell}(a_i, a_j) = \begin{cases} (x_{ij}^1 / \sum_{k=1}^n x_{kj}^1 + z_j^1) + (x_{ji}^1 / \sum_{k=1}^n x_{ki}^1 + z_i^1) & \\ \text{при } (x_{ij}^1 / \sum_{k=1}^n x_{kj}^1 + z_j^1) > 0; (x_{ji}^1 / \sum_{k=1}^n x_{ki}^1 + z_i^1) > 0; \\ x_{ij}^1 / \sum_{k=1}^n x_{kj}^1 + z_j^1 & \text{при } \sum_{k=1}^n x_{ki}^1 + z_i^1 = 0; \\ x_{ji}^1 / \sum_{k=1}^n x_{ki}^1 + z_i^1 & \text{при } \sum_{k=1}^n x_{kj}^1 + z_j^1 = 0. \end{cases} \quad (1.3)$$

Для  $S_3$  – связи:

$$\rho_{S_3}^{\ell}(a_i, a_j) = \begin{cases} \frac{(x_{ij}^1)^2}{x_i^1 (\sum_{k=1}^n x_{kj}^1 + z_j^1)} + \frac{(x_{ji}^1)^2}{x_j^1 (\sum_{k=1}^n x_{ki}^1 + z_i^1)} & \\ \text{при } x_i^1 > 0, x_j^1 > 0, (\sum_{k=1}^n x_{kj}^1 + z_j^1) > 0, (\sum_{k=1}^n x_{ki}^1 + z_i^1) > 0; \\ \frac{(x_{ij}^1)^2}{x_i^1 (\sum_{k=1}^n x_{kj}^1 + z_j^1)} & \text{при } x_i^1 > 0, (\sum_{k=1}^n x_{kj}^1 + z_j^1) > 0, \\ x_j^1 = 0, (\sum_{k=1}^n x_{ki}^1 + z_i^1) > 0; \\ \frac{(x_{ji}^1)^2}{x_j^1 (\sum_{k=1}^n x_{ki}^1 + z_i^1)} & \text{при } x_i^1 = 0, (\sum_{k=1}^n x_{kj}^1 + z_j^1) = 0, \\ x_j^1 > 0, (\sum_{k=1}^n x_{ki}^1 + z_i^1) > 0, \end{cases} \quad (1.4)$$

Где коэффициент  $\rho_{S_3}^{\ell}(a_i, a_j)$  – коэффициенты связи различных долей потребляемого и «экспортируемого» энергопродукта, в тоже время:

$$\rho_{S_1}^{\ell}(a_i, a_j), \rho_{S_2}^{\ell}(a_i, a_j), \rho_{S_3}^{\ell}(a_i, a_j), \quad (1.5)$$

$$\rho_{S_1}^{-\ell}(a_i, a_j), \rho_{S_2}^{-\ell}(a_i, a_j), \rho_{S_3}^{-\ell}(a_i, a_j), \quad (1.6)$$

Легит на отрезке [0,1] и является безразмерной величиной. Учитывая это обстоятельство, а также административный характер интеграционных коэффициентов, оценивающих связи между успехами, которые определяются по соотношению, например для  $S_1$  – связи:

$$\rho_{S_1}(a_i, a_j) = \frac{1}{2L} \sum_{\ell=1}^L \rho_{S_1}^{\ell}(a_i, a_j) \quad (1.7)$$

При выборе предпочтений вариантов  $\rho_{S_i}(a_i, a_j)$  следует рассматривать нечеткое множество  $S_{il}$  предпочтений  $R_i$  на множестве  $\{x\}$ , описываемого функцией принадлежности вида [15]  $\mu_R : \{X\} \times \{X\} \rightarrow [0,1]$ , обладающей свойством рефлексивности, т.е.  $\mu_R(X_j^1, X_i^1) = 1$  при любом  $x^1 \in X_i$ . В этом случае множество недоминируемых альтернатив будет описываться функцией принадлежности вида:

$$\mu_R^{HD}(x^1) = 1 - \sup[\mu_R(y_j^1, x_i^1) - \mu_R(x_i^1, y_j^1)] \quad (1.8)$$

В данном случае вычисляется  $y^{HD}(x_i^1, \rho_{S_i})$  при фиксированных  $\rho_i \in P$ :

$$y^{HD}(x_i^1, \rho_{S_i}) = 1 - \sup(y_i^1, x_i^1, \rho_{S_i}) - y(x_i^1, y_i^1, \rho_{S_i}) \quad (1.9)$$

после чего определяется нечеткое отношение предпочтения (НОП) на множестве  $\{X\}$ , индуцированное  $y^{HD}(x_i^1, \rho_{S_i})$  и нечетким отношением  $\mu^1$ :

$$\eta(x_j^1, x_i^1) = \sup \min\{y^{HD}(x_i^1, \rho_{S_i})\}; y^{HD}(x_j^1, \rho_{S_j})\} \cdot y^{HD}[\mu(\rho_{S_i}, \rho_{S_j})] \quad (1.10)$$

где построением  $\eta(x_1, x_2)$  исходная задача сводится к задаче выбора с единственным отношением предпочтения. Для её решения достаточно определить нескорректированное множество недоминируемых альтернатив:

$$\eta^{HD}(x) = 1 - \sup\left[\eta\left(\frac{dx}{dz}, x\right) - \eta\left(x, \frac{dx}{dz}\right)\right] \quad (1.11)$$

и осуществить корректировку с учётом выражения:

$$\eta^{HD}(x) = \min[\eta^{HD}(x), \eta(x, x)] \quad (1.12)$$

Рассмотренная методология и математические модели (1.10)-(1.12) с учётом (1.1)-(1.4) ниже используются для проведения разработки инновационной технологии информационного обеспечения стратегических задач реализации 2-го этапа программы энергосбережения на заводе «Днепропетцсталь» (2005-2010 г.г.)

II. Стратегические задачи выполнения 2-го этапа программы энергосбережения [2].

Такие задачи решаются на основе сертификатов качества: ISO 9001: 2000, РС ФЖТ, Lloyd Register, TUV (Германия): системы учёта качества металла в разливочных пролётах; АСУТП на ДСП-50, ДСВ-60, ДСП-ГКР на основе АРМ сталеваров и SAP R/3; учет затрат в SAP R/3; АСУТП виброобработки, при разливке стали; увеличение доли металлопродукции: методом ЭШП – на 20%; МП – на 30%; с колиброванной и со спецотделкой поверхности – на 30%; из жаропрочных сплавов и сталей – на 25%; обеспечение интеграции по химсоставу SAP/ERP, распространение шлифования трубной заготовки на оборудовании фирмы «Loser», обеспечивающей  $R_z \leq 2,5$  мкм; внедрение разливки подшипниковых сталей с применением пиролизной смеси и др. мероприятия в области маркетинга и продаж.

**А. Объект автоматизации: энергоснабжение потребителей:**

1) Состав энергоресурсов: электроснабжение, газоснабжение, теплоснабжение, кислород и аргон, сжатый воздух, азот, водоснабжение, водоотведение.

2) Среднее потребление (за 2006-2008 гг.) энергоресурсов:

Газ природный(с СКБ) – 101200 тыс.м<sup>3</sup>; Газ доменный – 236276 тыс. м<sup>3</sup>; Газ коксовый – около 100 тыс. м<sup>3</sup>; Техническая вода – 41343 тыс. м<sup>3</sup>; Вода питьевого качества(с СКБ) – 3043 тыс. м<sup>3</sup>; Пар – 119900 Гкал; Горячая вода(с СКБ) – 28200 Гкал; Кислород – 17380 Гкал; Аргон – 1710 Гкал; Угля Донецкого – 670 т; Коксовой мелочи – 13100 т; Электроэнергии(с СКБ) – 653300 тыс.кВт.час;

3) Выработка собственных энергоресурсов: сжатого воздуха – 244805 тыс. м<sup>3</sup>; азота – 4756 тыс. м<sup>3</sup>;

4) Состав энергетического оборудования:  
- трансформаторы силовые IV-VI габаритов, шт/кВ\*Ф-12/516000;

- то же I-III габаритов шт/кВ\*А – 202/19070;

- трансформаторы электропечные (индукционных печей, ДСП, ЭШП) – шт/кВ\*А – 55/335700;

- электрические машины, всего: шт/кВт – 14700/574600, в т.ч.: переменного тока – 13300/429900, постоянного тока – 1350/144700;

- полупроводниковые преобразователи, шт/кВ\*А – 567/87190;

- сварочное оборудование, шт/кВ\*А – 250/9900;

- грузоподъемные электромагниты – шт/кВ\*А – 48/900;

- подстанции распределительные, всего в т.ч. в электроустановках:

- 154кВ – 3; 35кВ – 3; 6кВ – 33; Всего – 39;

- подстанции трансформаторные 6/0,4кВ – 99;

- фидеры высоковольтные, всего – 895; в т.ч. в электроустановках:

- 154кВ – 9; - 35кВ – 61; 6кВ – 825;

- ВВ выключатели масляные – 759, в т.ч. электропечные 6кВ – 56;

- выключатели 35кВ, всего – 50, в т.ч. электропечные воздушные – 18, электрогазовые – 7;

- кабели ВВ, всего, км – 630;

- комплекты ВВ релейной защиты, всего: - 3350, в т.ч. в электроустановках:

- 154кВ – 176; 35кВ – 195; 6кВ – 3182;

- автоматические регуляторы мощности программируемые устройства – 295 шт.;

- ПК – 28 шт.;

- электроизмерительные приборы – 5300 шт.;

- электрические приборы анализа и контроля качества металла – 48 шт.;

- газосмесительная повысительная станция – 1 шт.;

- компрессорные станции – 5 шт.;

- станции защитного газа – 1 шт.;

- оборотные циклы водоснабжения – 10 шт.;

- станция нейтрализации кислотных стоков – 1 шт.;

- нагревательные печи и печи отжига, колодцы – 284 шт.;

- краны – 370 шт.;

- холодильные установки – 327 шт.;

- газоочистные установки – 16 шт.;

- азотная станция (распределительная) – 1 шт.;

- вентиляционные установки технологические – 583 шт.;

- газопроводы межцеховые 17 км (с АСУ);

- аргонопроводы межцеховые, 6 км (с АСУ);

- трубопроводы межцеховые технической воды – 85 км.;
- пожарно-питьевой воды – 39 км.;
- паропроводы – 42 км.;
- тоже сетей теплофикации - 72 км.;
- тоже сжатого воздуха – 20 км.;
- кислородопроводы – 6 км.;
- трубопроводы канализации (промышленно-ливневой, кислотной, фекальной) – 5 км.;
- кондиционеры автономные – 262 шт.;
- тоже бытовые – 280 шт.;
- миникотельные газовые – 5 шт.;
- установка доочистки питьевой воды – 1 шт.;

#### **Б. Основные направления технологической автоматизации на базе PC S7-300, PC S7-400, PC S7-200:**

- 1) АСУТП с реализацией АСУЭР доводки стали на установках «печь-ковш», АГР, ГКР;
- 2) АСУ электрофильтрами и двумя дымососами (аглоэкстаустерами с агломашиной АКМ-312М) для системы газоочистки установок «печь-ковш», АГР, ГКР, двух ДСП-50 (ДСВ-60);
- 3) АСУ станцией нагрева ковшей;
- 4) АСУТП десульфурации жидкого чугуна гранулированным магнием;
- 5) АСУТП процессом производства аргона, кислорода, переработки колошникового и конвертерного газа;
- 6) АСУТП печи 1065 ЭШП;
- 7) Модернизация АСУ оборудованием дополнительного заливно-охлаждающего участка формировочной линии;
- 8) АСУТП дозирование шихты;
- 9) Модернизация АСУТП тракта сыпучих материалов;
- 10) Модернизация АСУТП радиально-ковочной машины;
- 11) АСУТП контроля и управления тепловыми режимами и др. технологических печей.

#### **В. Системотехника программируемых контроллеров.**

По известным рекомендациям TUV и её секции ТИА (комплексная интегрированная автоматизация) в условиях модернизации и организации нового производства. **Нами приняты к установке** ПИД – контроллеры серии S7 следующего спектра исполнений:

##### *1. Модульные ПЛК:*

- 1) Классической функционально-алгоритмической структуры: S7-400, S7-300, S7-200, LOGO;
- 2) Повышенной безопасности: S7-400F, S7-400FH, S7-300F;
- 3) Резервированные: S7-400H, S7-400FH как программное резервирование для S7-400; программное резервирование для S7-300;
- 4) Для управления и визуализации в одном комбинированном устройстве: панельный ПК с WinAC, WinAC MP, LOGO.

##### *2. Управление на базе ПК:*

- 1) Задачи для ПК и задачи управления в одном ПК: WinAC (программный ПЛК, Слот-ПЛК), WinAC MP.

##### *3. Распределенная автоматизация с локальным управлением:*

- 1) классический: ET-200S (с ЦПУ), исполнение IP20; ET-200X (с ЦПУ), исполнение IP 65/67;
- 2) повышенной безопасности: ET-200S (с ЦПУ повышенной безопасности, исполнение IP20.

#### *4. Управление перемещением:*

- 1) модули позиционирования;
- 2) ЦПУ с интегрированными функциями управления перемещениями механизмов;
- 3) Исполнение SOFT Ware – программное обеспечение Easy Motion Control.

#### *5. Общесистемные характеристики:*

- А) внедрение сложных задач управления и безопасности в стандартные языки FBD, LAD и CFC;
- Б) соответствие стандартам IEC61508 (до уровня SIL3) En954 (до Категории 4), NFPA 79-2002, NFPA85;
- В) тип SIMATIC C7 – основана на S7-300;
- Г) SIMATIC Win AC MP – управление на базе PC;
- Д) программный ПЛК осуществляется детерминизм при счете, измерении, позиционировании, регулировании, управлении кулачками, задвижками, клапанами и т.п.;
- Е) динамическое управление перемещением от синхронизма и управления траекторией до многоосевых задач;
- Е) минимальное время отклика начинается с 1 мкс;
- И) счет и измерение импульсов с частотой до 500 кГц.

#### **Г. Контрольно-измерительные приборы и анализаторы**

1) Серия измерительных устройств SITRANS P – серия измерительных устройств для относительно, дифференциального и абсолютного давления. Наряду с высокой точностью измерений и надежностью приборы характеризуются удобством управления и модульностью системы, а также функцией обширной самодиагностики.

2) Расходомеры серии SITRANS F позволяют работать с любыми жидкостями и газами, осуществляют высокоточное и надежное измерение расхода жидкостей, газов, пара и паров едких и агрессивных жидкостей и компонент. Они построены на основе магнитно-индукционных, ультразвуковых, механических и кориолисовых расходо-измерительных механизмов/химия, нефтехимия, учет воды технических стоков и канализационных потоков, пищевая промышленность, горно-металлургический комплекс (расходомеры, ротаметры, кольцевые счетчики, индикаторы потока).

3) Измерение уровня: Paintek ULS – уровнемеры Siemens во всех отраслях технологических и сточных вод, наполнителей, цемента, горной промышленности, хранения пыльных веществ, химии, нефтехимии, нефте- и газопереработки, металлургии чёрных и цветных металлов и прецизионных сплавов.

4) Высокоточное позиционирование клапанов: серия SIPART PS2 – вплоть до взрывобезопасных и взрывозащищенных на основе встроенных микропроцессов. Осуществляет автоматическую компенсацию нулевой точки и диапазона, автоматическая диагностика состояния вентиля и привода. Интеграция с коммуникационными интерфейсами RS-485 и PROFIBUS-PA.

5) Техника точного взвешивания и смешивания: весоизмерительные и дозировочные системы SIWAREX весоизмерительных систем и ленточных весов, ленточных весовых дозаторов и расходомеров сыпучих веществ SIEMENS Milltronics осуществляют оптимальную весоизмерительную систему для

решения любой задачи (стандартные компоненты SIMATIC совместимые с PC S7 любой серии: 300, 400, 700.

6) Точный контроль и определение химсостава газов: серия промышленных газоанализаторов NAMUR – встраиваются через RS-485 и Profibus DP в систему автоматизации SIMATIC PDM. Это комплексы ULTRAMAT 23, CALOMAT 6, OXYMAN 6, FIDAMAT 6, SIPROMEGA.

7) Селективное определение компонентов сложных смесей: серия промышленных хроматографов MicroSAM: газовые хроматографы Siemens типа MAXUM edition III осуществляют гибкое управление газовыми режимами печей, экономии энергии, бесклапанное переключение разделительных колонок, параллельная хроматография, работа с сетями TCP/IP и Ether-net для интерфейсов RS-232 и RC-485.

8) Точный анализ свойств жидких веществ: жидкостные анализаторы SIPAN (SIPAN32, SIPAN34) – взрывозащищенные приборы с интерфейсом через протокол HART или Profibus PA – SIPAN (измерение проводимости: контактное и индуктивное, измерение концентрации, измерение pH, редокс – изменение и измерение растворенного кислорода в комплекте с сенсорами (энергетика, металлургия, химия и др.)

9) Анализ микроконцентраций в любой среде: спектрометры NIR в режиме реального времени. Анализ жидкостей, паст, порошков, твердых частиц с помощью AOTF – спектрометра SINIS A, масс-спектрометр QU-ANTRA, лазерный спектрометр LDS3000 – очистка дымовых газов металлургии при температуре 1500°C и выше.

10) Оптимизация регулирующих контуров: управление прецизионными технологическими процессами любого вида – серия SIPART DR (на основе опыта применения более 200000 раз). Компактные ПИД-регуляторы (ПИД – контролеры по лексике англоязычных грамматик) на основе гребенчатых фильтров с различными видами длин импульсных характеристик: применяются с интерфейсом (трансмиссиями) RS-232/RS-485 или PROFIBUS DP имеют аналоговое, аналого-цифровое, цифровое исполнение с непрерывными или дискретными входами и выходами и их комбинациями: задачи регулирования в качестве одно- или двухканального регулятора с реализацией математических вычислений, логических операций, функций программозадачика с реализацией до 4-х независимых регулирующих контуров.

11) Точный контроль и документация процессов: серия SIREC – цифровые и бумажные регистраторы: типы SIREC DM, SIREC DH, SIREC P/PA (6 каналов), SIREC L/LA, SIREC PU, SIREC Variograph 3590, (3560), - 12 каналов (аналоговых), цикл измерения 1,5 с.

12) Системы раннего оповещения для защиты процесса: реле движения и числа оборотов: Milltronics MFA 4р. с зондами MSP или XPP; акустические сенсоры SITRANS AS10 (звуковые колебания) в комплекте с SITRANS CU02 и контролером.

III. Информационное обеспечение автоматизированной системы управления электрическим режимом дуговой печи (АСУЭР)

Такая АСУЭР имеет две подсистемы: а) обеспечения регулирования мощности; б) обеспечение техно-

логии плавления «садки» и рафинирования расплава сплава по технологии «высшего уровня».

Основной научно-методической базой электросталеплавления по технологии высшего уровня являются научные труды, опытно-конструкторские, производственные работы научных работников НУ «Львівська політехніка» и Запорожского национального технического университета, в опыт зарубежных фирм в этой области (Duasero, Мексика; Beltrame, Италия; Valloures, Франция; Armcso, США; Daiwa, Япония и др.) со сверхмощными печными трансформаторами, например 2-160 МВ·А с числом ступеней регулирования РПН, равным 96 (трансформаторы фирмы Voest Alpine, Австрия для печей фирмы Siderurgika, Бразилия и др.) Основным элементом электропечного контура дуговых печей, как основных технологических агрегатов производства современных высококачественных сталей и сплавов тяжелых черных металлов является «короткая сеть». Ведущими фирмами в этой области являются: Brar Elettro meccanica Srl (Италия), Fucks (США), Egacable Sarl (Франция) и др., поставляющие цепи вторичного токопровода, водоохлаждаемые медные кабели, электродержатели в сборе, контактные пластины для комплексов «печь-ковш», печей ЭШП (в т.ч. для производства ферросплавов), продукция которых сертифицирована по ISO 9001: кабели Star STM, Uniflex CR в резиновом рукаве FORNOFLEX (по ISO 8205-1 тип А): типоразмер Star STM1-STM21 (сечение 900-6900мм, количество жил 6-12, сечение одной жилы 150-575мм, сопротивление постоянному току 2,0-2,5μΩ/м при плотности тока 4,5 А/мм, радиус изгиба 400-1100 мм. Кабель Uniflex CR (типоразмер CR10-CR60, сечение 1000-6000мм, количество жил 6-10, сечение жилы 24-69мм, сопротивление от 18 до 3μΩ/м, расход воды 1,13-8,9л/мин на 1м кабеля при плотности тока 4,5 А/мм, радиус изгиба 400-950мм). Данные фирмы поставляют также шинные мосты для электропечей и печей-ковшей, трубошины из безкислородных медных труб, водоохлаждаемые опорные металлоконструкции и экономайзеры из немагнитной стали, компенсаторы из алюминия и меди для трансформаторов до 200 МВ·А.

Системы силовой электроники строятся на основе комплектов фирм AEG-Telefunken, Fuji Electronic, Siemens, Elin Union, Mannesman Demag, Berges, Stromberg, ACES, BBC Veritron, Danfoss, Retuelectronic, Voith, General Electronic, Poletti, Bosch, Mitsubishi, Werthinghouse, Ghisalbo, Fimet, отечественных систем РЭН, РЭН-2, ЭПУ1...ЭПУ2-2... Для систем технологической автоматизации используются разработки Харьковского АОЗТ Тяжпромавтоматика и ряд др.

Регулирование мощности осуществляется по двум каналам: а) напряжение «короткой сети», б) ток дуги. Эти каналы реализуются на основе РПН печного трансформатора и регулятора мощности (СТУ-7222 или РММ-9522 в настоящее время).

РПН трансформатора имеет 23 ступени, регулятор РММ-9522 реализуется на основе тиристорного комплекса ЭПУ-2-2...ЕУХЛ4 на ток 10А.

Подсистема обеспечения строится на базе микропроцессорных контролеров серий S7-200, 300, 400. Она имеет следующие информационные потоки:

А. Входные аналоговые сигналы: температура жидкой стали, активная и реактивная мощность, ток и на-

пряжение 3-х фаз, температура падины (в 4-х точках), температура в щитовом пролете и температура воды охлаждения (конструкции, футеровки, арки, заслонки, фурмы, холодильника, «короткой сети и др.), расход воды на охлаждение, температура газов, химический состав газов, вес жидкой стали, расход кислорода и аргона, вес ферросплавов и скрапа (в т.ч. заправочных материалов и шлакообразующих и др.

Б. Входные дискретные сигналы: наклон печи (уровень шлаков, защиты, слива шлаков и металла), положение фурмы и электродов и др. Общее количество входных и выходных сигналов более 200. Этот же комплекс включает в себя и потоки контура регулирования мощности печи на базе микроконтроллера S7-315. Разработка методологии идентификации координат указанных подсистем АСУЭР проводится с на основе основных положений теории идентификации координат корреляционной функции на основе принципа Вальда [23,24].

В. Процессы идентификации координат корреляционной функции на основе принципа Вальда.

Здесь решается задача определения параметров динамического функционирования регулятора мощности по значениям тока дуги при её обрыве, эксплуатационному к.з., среднему значению градиента тока при рабочем сгорании графитированного электрода по критерию Вальда (гарантированного результата анализа максимумно-минимумных задач [25,26]).

На основании основных положений критерия Вальда нами разработан алгоритм решения задачи идентификации, позволяющий получить значение сигнала, пропорционального гарантированному интегральному значению уставки срабатывания регулятора тока «короткой сети» (РММ-9522 или преобразователя) на основе ряда системных функций  $m_i, i=1, n$ . Значение  $m_i$ , (математические ожидания сигналов датчиков тока, напряжение по Герде Айртон) связаны оргграфом дисперсии,  $x_i$  - корреляционные функции сигналов указанных датчиков), вершины которого суть  $m_i \in d_{ij} = 1, n$ .

Данные вершины с помощью путей, вес  $P_{ij}$  которых не превышает директивной величины  $\lambda \in P_{ij} \{d(m_i, m_j)\} \leq \lambda$  и множество вершин (значений дисперсий в рассматриваемой точке)  $R_{\lambda}^t(m_i)$  определяет  $P_{ij} \{d(m_i, m_j)\} \leq \lambda$ , где вес  $P_{ij}$  не превышает  $m_j$ , [25].

Для каждой  $R_{\lambda}^t(m_i)$  определяются числа [28,29]:

$$S_0(m_i) = \min_{m_j \in M} [P_{ij} \{d(m_i, m_j)\}] \tag{3.1}$$

$$\text{Или } S_0(m_i) = \max [P_{ij} \{d(m_i, m_j)\}] \tag{3.2}$$

являющееся числом внешнего деления вершины  $R_{\lambda}^t(m_i)$ , а так же [2] определяется как:

$$S_t(m_i) = \min_{m_j \in M} [P_{ji} \{d(m_j, m_i)\}] \tag{3.3}$$

$$S_t(m_i) = \max_{m_j \in M} [P_{ji} \{d(m_j, m_i)\}] \tag{3.4}$$

являющееся числом внутреннего деления вершины  $m_i [R_{\lambda}^t(m_i)]$ .

а) Вершина на  $m_0^*$  для которой число внешнего деления представляется как

$$S_0(m_0^*) = \max_{m_j \in M} [S_0(m_j)] \tag{3.5}$$

$$\text{Или } S_0(m_0^*) = \min_{m_j \in M} [S_0(m_j)] \tag{3.6}$$

Которое принимается за внешний центр графа  $G_i = \{d_i, E_i\}$

б) Вершина  $m_i^*$  для которой число внутреннего деления определяется выражением [29]:

$$S_t(m_i^*) = \max_{m_j \in M} [S_t(m_j)] \tag{3.7}$$

$$\text{или } S_t(m_i^*) = \min_{m_j \in M} [S_t(m_j)] \tag{3.8}$$

Принимается за внутренний центр графа, указанного выше.

в) При определении числа внешне-внутреннего деления как [28]:

$$S_{0t}(m_i) = \min_{m_j \in M} [P_{ij} \{d(m_i, m_j)\}] + \min_{m_j \in M} [P_{ji} \{d(m_j, m_i)\}] \tag{3.9}$$

или

$$S_{0t}(m_i) = \max_{m_j \in M} [P_{ij} \{d(m_i, m_j)\}] + \max_{m_j \in M} [P_{ji} \{d(m_j, m_i)\}] \tag{3.10}$$

Рассматриваемая вершина  $m_{0t}^*$  будет являться внешневнутренним центром графа G или выполнении условия:

$$S_{0t}(m_{0t}^*) = \max_{m_j \in M} [S_{0t}(m_j)] \tag{3.11}$$

$$\text{или } S_{0t}(m_{0t}^*) = \min_{m_j \in M} [S_{0t}(m_j)] \tag{3.12}$$

В соответствии с [29] или разрешении максимумно-минимумных задач внешневнутренний центр графа G (вершина  $m_{0t}^*$  среднее значение – математическое ожидание) принимается за величину интегрального значения сигнала срабатывания регулятора мощности по принятому уровню уставки

в) формализованной графом G структуре информационного канала будет соответствовать следующая сетевая матрица структурно-алгоритмической эффективности реализации соответствующего контура АСУЭР (блока идентификации параметров  $m_i, m_j$ ):

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \tag{3.13}$$

Где  $P_{ij}(P_{ji})$  – структурно-алгоритмическая эффективность (в основном быстрые действия демпфирования, перерегулирование) параметра  $m_i(m_j)$  с элементом (параметром)  $m_j$  т.е. вес совокупности путей графа  $G: \{d(m_i, m_j)\} \{m_i, m_j\}$ .

г) На основании соотношений (3.1)-(3.13) на рис. 3 приведен алгоритм идентификации координат

Предварительно вводится исходная сетевая матрица P(3.13) как исходная информационная матрица, после чего работа блока реализуется по алгоритмам:

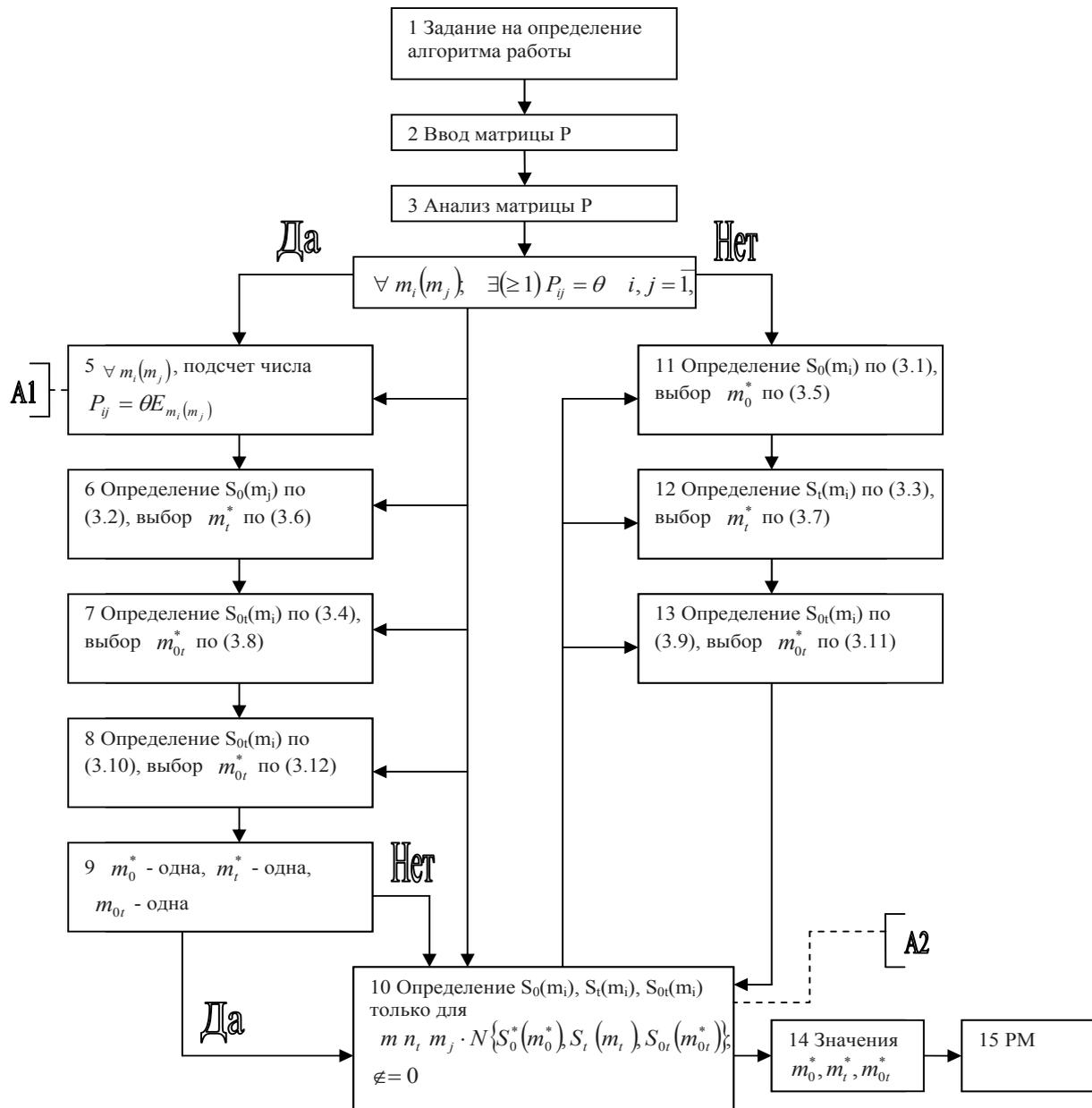


Рис. 3. Алгоритм работы блока идентификации максиминно-минимаксная по Вальду. Схема функциональная. (величина уставок срабатывания соответствующего регулятора, содержащий три алгоритма (модели) (A1-обрыв дуги, A2-рабочий режим, A3-режим эксплуатационного к.з.)

А. Алгоритм A1-решение минимаксной задачи на исходной матрице при наличии нулевых элементов во всех её строках (столбцах), но хотя бы с одним значением минимума их числа по строкам (столбцам):

а) Для всех строк (столбцов) вычисляется число элементов  $P_{ij}=0$  принадлежащих  $m_i(m_j)$ , и дальнейшие операции поиска max и min в алгоритме 1 проводятся только с этими величинами.

б) Определяется число  $S_0(m_i)$  внешнего разделения вершины G по (2.20) и выбирается вершина  $m_0^*$  в соответствии с (3.6).

в) Определяется число  $S_t(m_i)$  внутреннего разделения каждой вершины  $m_i$  по (3.4) и выбирается вершина  $m_t^*$  по (3.8);

г) Определяется число  $S_{0t}(m_i)$  внешневнутреннего разделения каждой вершины  $m_i$  по (3.10) и выбирается вершина  $m_{0t}^*$  по (3.12).

В случае если вершина  $m_0^*, m_t^*, m_{0t}^*$  включают в себя по одной вершине, то  $m_{0t}^*$  является внешневнутренним центром (3.13), а  $m_0^*$  и  $m_t^*$  -соответственно определяет диапазон срабатывания регулятора (т.е. соответственно внешним и внутренним её центром). Если вершина (значение сигналов), входящих  $m_0^*, m_t^*, m_{0t}^*$  наблюдается несколько, то происходит к алгоритму A2.

Б. Алгоритм A2-решение максиминной задачи на исходной матрице (3.12) при наличии нулевых элементов во всех её строках (столбцах), но с несколькими значениями минимума их числа по строкам (столбцам):

а) число  $S_0(m_i), S_t(m_i), S_{0t}(m_i)$  в данном случае определяются только для строк и столбцов, соответствующих уже полученным по результатам выполнения алгоритма A1 (вершинам-сигналом  $m_0^*, m_t^*, m_{0t}^*$ ) и при этом все операции поиска min и max реализуются

в канонической форме только с их не нулевыми элементами [28];

б) Определяется число  $S_0(m_i)$  по формуле (3.1) и выбирается  $m_i$  по (3.5)

в) Определяется число  $S_t(m_i)$  по (3.3) и выбирается  $m_t^*$  по (3.7);

г) Определяется число  $S_{0t}(m_i)$  по (3.9) и принимается вершина  $m_{0t}^*$  по (3.11).

В этом случае вершине G (сигнал)  $m_{0t}^*$  будет внешневнутренним центром графа, а  $m_0^*$  и  $m_t^*$  его внешним и внутренним центром( диапазоном срабатывания регулятора). Если число сигналов, входящих в  $m_0^*$ ,  $m_t^*$ ,  $m_{0t}^*$  снова превысит единицу, то это свидетельствует о наличии эквивалентного числа соответствующих центров графа G (уставок срабатывания регулятора).

В. Алгоритм АЗ- решение максиминной задачи на исходной матрице (3.13) при наличии в ней одной и более строк (столбцов), не содержащих нулевых элементов. а) Определяется число  $S_0(m_i)$  по формуле (3.1) и принимается  $m_0^*$  по (3.5); б) Определяется число  $S_t(m_i)$  по формуле (3.3) и принимается сигнал  $m_t^*$  по (3.7); в) Определяется число  $S_{0t}(m_i)$  по (3.9) и выбирается  $m_{0t}^*$  по формуле (3.11). В данном случае внешних, внутренних и внешне-внутренних центров графа G (уставки срабатывания), как и в алгоритме А2, может быть получено более одного.

При реализации алгоритмов А1, А2, А3 на микроконтроллере S7-31-5 (или на другом серий S7-200, S7-400) время работы системы обработки информации не превышает 0, 15с, т.е. менее времени срабатывания выключателя мощности печного трансформатора.

IV. Формирование информационного обеспечения в стохастических режимах динамического функционирования короткой сети дуговой печи.

Ниже рассматриваются вопросы структурного синтеза алгоритмов регулирования координат «короткой сети» электротехнологического комплекса дуговой печи большой мощности (ДСВ-60, ДСП-50) на основе работ авторов [4-9] а также [11-22] с последующим синтезом цифровых формирующих блоков (фильтров) идентификации для электротехнических процессов нестационарного (стохастического) взаимосвязанного типа с дискретным временем при создании аналого-цифровых систем регулирования мощности процессов плавления «садки» по технологии «высшего уровня».

Методология синтеза систем подобного класса, реализуемых аппаратно и программно на основе интерфейса RS-232 и микропроцессорных ЭВМ промышленного типа серий S7-200, S7-300, S7-400, базируется корреляционной на теории стохастических процессов со случайными и нестационарными приращениями координат [28]

Теоретической предпосылкой такого подхода к описанию математической модели стохастического, в общем случае нестационарного для условий электрометаллур-

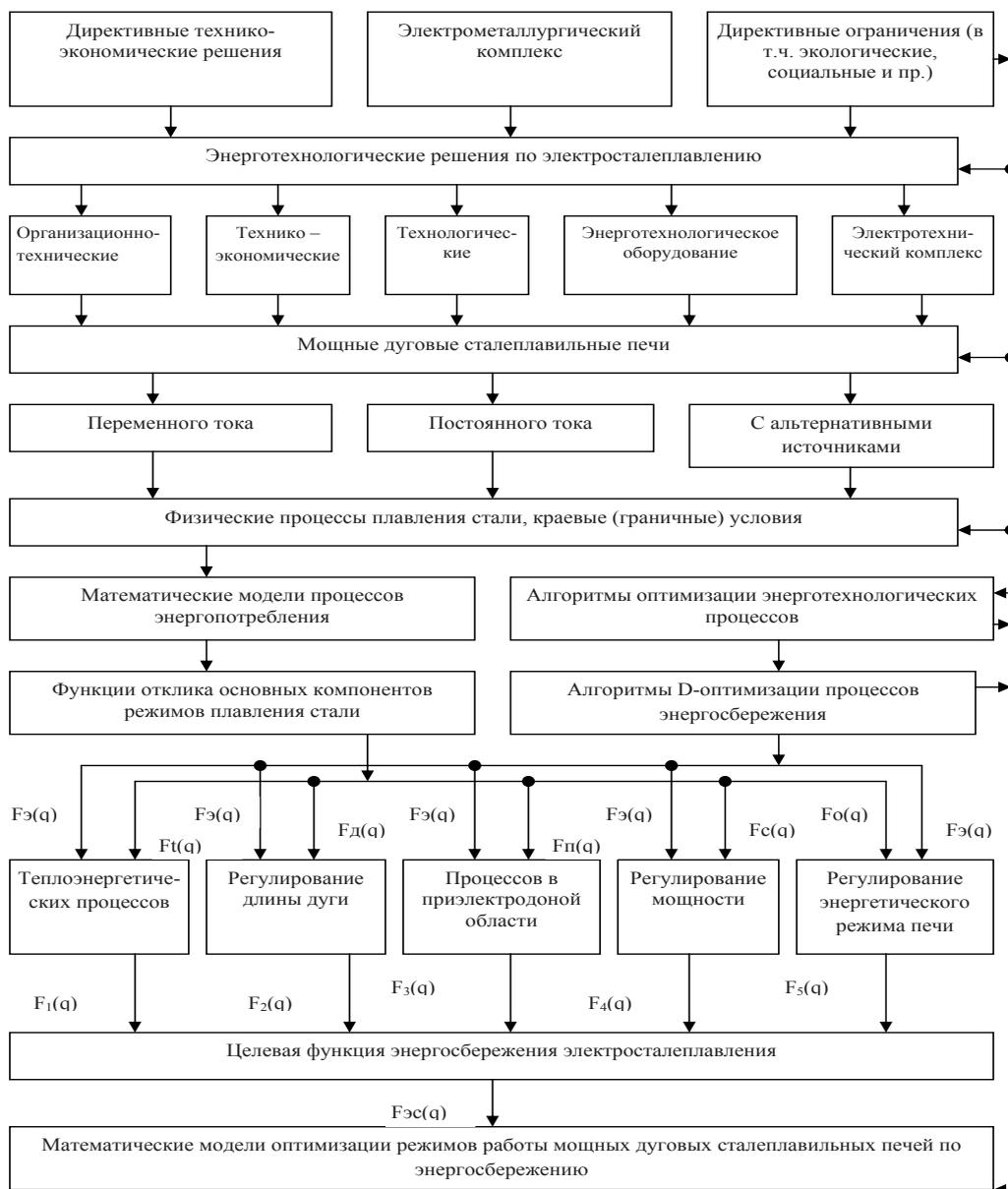


Рис. 4. Алгоритм разработки блока идентификации компонентов вектора измерений ДСП

гии, но со стационарными (на этапе плавления) приращениями заданного порядка является аналог задачи Колмогорова-Винера: имеется уравнение регрессии [4] как модель корреляции параметров (информационная модель), но модель объекта в рассмотрение не включается. Измеряемый сигнал с датчиков представляет собой случайную последовательность со стационарными приращениями порядка  $p$  (СПСП- $p$ ). Для этого случая синтезируется оптимальная (с точки зрения использования вычислительной мощности микроконтроллера S-7315 для условия ОАО «Днепропетсталь»).

Для взаимосвязанных процессов (ДСП-конвертер) учитываются взаимосвязи между компонентами вектора измерения (рис. 4), однако (в отличие от задачи Калмана-Бьюси) авторы настоящей статьи рассматривают квазистатические модели рассматриваемых координат (рис. 2.1). Кроме того авторы данной статьи решают задачу, где процедура синтеза реализуется при «неточно» («размытой») заданной модели объекта.

Такая задача решается по методологии решения задачи оценивания не измеряемых переменных в рамках общей методологии, объединяющей вышеперечисленные подходы.

А. Модель формирования сигнала, пропорционального векторному случайному процессу со стационарными приращениями.

В соответствии с [4,23] задача синтеза алгоритмической структуры для скалярного случайного процесса с  $p$ -ми стационарными приращениями имеет следующий вид:

$$Y_{j+1}^p = F_p Y_j^{(p)} + G_p \lambda_j + \Psi_j^{(p)}; \tag{A.1}$$

$$I = M \sum_{j=1}^N (Y_j^{(p)})^T Q_p Y_j^{(p)} \rightarrow \min \max; \tag{A.2}$$

$$Q = \text{cov} \text{diag} [0 \dots 0(1-\beta)\beta]^T \tag{A.3}$$

где  $I$  - минимизирующийся (максимизирующий) (в общем случае минимаксных или максиминный) показатель качества динамического функционирования комплекса на  $-$ ом этапе плавления «садки»;  $T$ -символ транспонирования матрицы;  $M$ -оператор математического ожидания;  $Y_{j+1}^p$  вектор размерности  $(2p+L)$ ; имеющий вид:

$$Y_j^{(p)} = [\Delta^{(p)} z_j \dots \Delta^{(2)} z_j \Delta^{(1)} z_j z_j w_j \Delta^{(1)} w_j \Delta^{(2)} w_j \dots \Delta^{(p+1)} w_j \epsilon_j]^T \tag{A.4}$$

$$(\Psi_j^{(p)})^T = [\eta_j \dots \eta_{p+2} \eta_j 0 \dots 0(-v_j)] \tag{A.5}$$

$$\eta_j = \Delta^{p+1} z_{j+1} \tag{A.6}$$

$$W_{j+1} = \lambda_j \tag{A.7}$$

$$z_j = x_j + v_j \tag{A.8}$$

$$\epsilon_j = x_j - \lambda_j \tag{A.9}$$

Здесь  $Q_p, G_p, F_p$  - известные матрицы, составляемые из коэффициентов, определяемых по значениям параметров таблицы 1;  $\beta$  - весовой коэффициент ( $0 \leq \beta \leq 1$ );  $z_j$  - параметр замера координаты (в т.ч. смесь «сигнал-шум») в  $j$ -ый момент времени;  $x_j, v_j$  - полезный

сигнал и шум измерения соответственно;  $\epsilon_j$  - ошибка фильтрации в  $j$ -ый момент времени;  $\lambda_j$  - оптимальная оценка сигнала в  $j$ -ый момент времени;  $\Delta^{(p)} \alpha$  вариация (приращение  $p$ -го порядка для  $\alpha$ ).

Решение задачи минимизации для 1 имеет вид [29]:  $\lambda_j^{(0)} = B_{N-j} Y_j$ ;  $(A.10)$

где  $\lambda_j$  - оптимальные по принятому критерию управления (в данном случае - оценка сигнала на выходе оптимизатора блока оптимизации - квадратора);  $B_{N-j}$  - вектор, определяемый из рекуррентных соотношений

$$S(0) = Q; B_{N-j-1} = -[G^T S_{N-j} F]; \tag{A.11}$$

$$S_{N-j-1} = Q + F^T S_{N-j} F + F^T S_{N-j} G B_{N-j};$$

$$B_{N-j} = \text{const} \text{ при } j=i)40 \tag{A.12}$$

Применительно к условиям квазистационарности (при условии работы системы в диапазоне времени, равного времени  $i$  - го этапа плавления (расплавления, карбюризации, карбонизации, рафинирования, раскисления, выдержки и др.), т.е. время работы блока  $N$  велико (10-20 мин. И более), и, следовательно, вектор  $B$  с учетом (A.12) считается постоянным для группы марок сталей (сплавов), поэтому (A.10) упрощается и принимает вид:  $\lambda_j^{(0)} = B Y_j$ ;

$$\text{или } \lambda_j^{(0)} = \sum_k (\alpha_k \Delta^{k-1} z_j + b_k \Delta^{k-1} w_j), \tag{A.13}$$

где  $b_k, \alpha_k$  - константы, определяемые по (A.11)

При преобразовании (A.13) имеем:

$$\lambda_j^0 = \sum_{m=0}^{p+1} (-1)^m [q_m z_{j-m} + g \lambda_{j-m}^0]; \tag{A.14}$$

$$q_m = \sum_{k=m+1}^{p+1} \alpha_k C_{k-1}^m; \tag{A.15}$$

$$g_m = \sum_{k=m+1}^{p+1} b_k C_{k-1}^m; \tag{A.16}$$

Значение (A.16) имеют вид:

$$\text{а) для } p=0: \lambda_j = a_1 z_j + b_1 \lambda_{j-1} \tag{A.17}$$

$$\text{б) для } p=1: \lambda_j = (a_1 + a_2) z_j - a_2 z_{j-1} + (b_1 + b_{2z}) \lambda_{j-1} - b_2 \lambda_{j-2} \tag{A.18}$$

$$\text{в) для } p=2: \lambda_j = (a_1 + a_2 + a_3) z_j - (a_2 + 2a_3) z_{j-1} + a_3 z_{j-2} + (b_1 + b_2 + b_3) \lambda_{j-1} - (b_2 + 2b_3) \lambda_{j-2} + b_3 \lambda_{j-3} \tag{A.19}$$

откуда следует, что модель (A.14) позволяет использовать предлагаемое семейство оптимальных фильтров-блоков формирователей в системах реального времени путем вычисления текущего сглаженного (математического ожидания-среднего значения) значения  $\lambda_j$  через  $(p+1)$  - е значение предыдущих измерений  $z_j, z_{j-1}, \dots, z_{j-p}$  и через  $(p+1)$  предыдущих значений (сглаженных)  $\lambda_{j-1}, \lambda_{j-2}, \dots, \lambda_{j-p-1}$ . Переменные  $q_m$  и  $g_m$  вычисляются по соотношениям (A.11), (A.15), (A.16) в функции коэффициента  $\beta$ . Оценка  $\lambda_j$  является не смещенной и для  $p=0$  формирователь (фильтр) (A.17)

является фильтром экспоненциального сглаживания, т.е. он оптимален по критерию (A.2).

Б. Формирование алгоритма идентификации взаимосвязанных векторных случайных процессов со стационарными приращениями.

В данном случае рассматриваются два векторных СПСП  $\dot{z}_j$  и  $\dot{z}_j^*$  (штрихи идентифицируют сами процессы и все связанные с ними величины).

В первом предложении принимаем линейную зависимость между  $\dot{z}_j$  и  $\dot{z}_j^*$ , т.е.  $\dot{z}_j^* = A\dot{z}_j$  (A- матрица параметров - без учета помех). В этом случае и формирование сигналов (фильтрация) осуществляется в подобной же оценке, т.е.

$$\dot{\lambda}_j^* = A\dot{\lambda}_j \tag{B.1}$$

При объединении (B.1) с (A.1)-(A.9) для процессов  $\dot{z}_j$  и  $\dot{z}_j^*$  получаем выражения, идентичные (A.1)-(A.9), в которых  $Y_j = [Y_j^* Y_j]^T$ ;  $\lambda_j = [\lambda_j^* \lambda_j]^T$ ;  $\psi_j = [\psi_j^* \psi_j]^T$ ;  $F = \begin{bmatrix} F^* & 0 \\ 0 & F^* \end{bmatrix}$ ;  $G = \begin{bmatrix} G^* & 0 \\ G^* & A \end{bmatrix}$ ;  $Q = \begin{bmatrix} Q^* & 0 \\ 0 & Q^* \end{bmatrix}$  (индекс «P» опущен), т.е. данные уравнения описывают задачу синтеза блока формирования сигнала двух линейно зависимых векторных СПСП.

Метод решения этой задачи аналогичен методу, изложенному выше, но отличие заключается в том, что на этапе фильтрации после вычисления  $\lambda_j = BY_j$  (B- матрица оптимальных весовых коэффициентов векторного фильтра) оценки сигналов, которых определяется как  $\lambda_j^* = \lambda_j^*$ ;  $\lambda_j = A\lambda_j^*$ .

В случае наличия помех структура оптимальной оценки  $\lambda_j$  векторных сигналов  $\dot{z}_j$  и  $\dot{z}_j^*$  будет иметь вид:

$$\lambda_{S,j} = \sum_{m=1}^{M_1+M_2} \sum_{\ell=0}^{P_m+1} (-1)^\ell [q_{S,m,\ell} z_{m,j-\ell} + g_{S,m,\ell} \lambda_{m,j-\ell}]; S = \overline{1, M_\ell};$$

$$q_{S,m,\ell} = \sum_{k=\ell+1}^{P_m+1} a_{S,m,k} C_{k-1}^\ell; g_{S,m,\ell} = \sum_{k=\ell+1}^{P_m+1} b_{S,m,k} C_{k-1}^\ell$$

В данном случае должны учитываться модель объекта, которая принимается к рассмотрению квазилинейной:

$$A\dot{z}_j = C, \tag{B.2}$$

где A, C – известные матрицы, на основании которых фильтр-формирователь, обеспечивающий вычисление оценок сигналов по условию  $Az_j = C$ .

При использовании (B.2) совместно с (A.1)-(A.9) для процесса  $\dot{z}_j$  имеет выражения (A.1)-(A.9), в которых

$$Y_j = [Y_j^* C]^T; \psi_j = [\psi_j^* 0]^T; F = \begin{bmatrix} F^* & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$G = [G^* \ A]^T; Q = \begin{bmatrix} Q^* & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

В. Синтез многомерного цифрового фильтра при неточно заданной модели объекта.

В данном случае параметры рассмотренных в задаче Б моделей принадлежат некоторому диапазону, т.е. известны не точечные, а интервальные их оценки.

Принимаются к анализу два векторных СПСП-р:  $\dot{v}_j$  и  $\dot{v}_j^*$ , которые (в отсутствии помех) линейно зависимы, т.е.  $\dot{v}_j^* = A\dot{v}_j$  (A-матрица параметров контура);

$\dot{v}_j \subset v_j$ ;  $\dot{v}_j^* \subset v_j^*$ , причем параметры связи определяются неточно:

$A = [a_{ij}]$ ,  $a_{ij} = a_{ij}^0 + e_{ij}$ ;  $\forall_{ij}$ , где  $e_{ij}$  погрешность определения (задания) коэффициента  $a_{ij}$ . В матричной записи  $A = A_0 + E$ . Для совместного оценивания необходимо выполнение соотношения  $\dot{\lambda}_j^* = A_0 \dot{\lambda}_j^*$ , для чего принимается

$$\dot{\lambda}_j^* = A_0 \dot{\lambda}_j^* + E\dot{\lambda}_j^* \tag{B.1}$$

В рассмотрение вводится критерий синтеза [26,29] фильтра

$$\gamma = M \sum_{j=1}^N [(1-\alpha)(W_j)^T Q_1 W_j + \alpha(E\dot{\lambda}_j^*)^T (E\dot{\lambda}_j^*)] \tag{B.2}$$

где  $\alpha \in [0,1]$ ;  $Q_1$  известно положительно определенной матрица.

W- вектор состояния для СПСП-р вектора  $V_j$ . При  $\alpha = 0$  имеем случай точно определенной модели (рассмотрено выше).

При преобразовании второго слагаемого в (B.2)

$(E\dot{\lambda}_j^*)^T (E\dot{\lambda}_j^*) = \dot{\lambda}_j^{*T} E_0 \dot{\lambda}_j^*$ ;  $E_0 = E^T E$  минимизируемый функционал примет вид:

$$\gamma = M \sum_{j=1}^N [(1-\alpha) W_j^T Q_1 W_j + \alpha \dot{\lambda}_j^{*T} E_0 \dot{\lambda}_j^*] \tag{B.3}$$

Где для  $W_j$  справедливо соотношение:

$$W_{j+1} = F_1 W_j + C\dot{\lambda}_j^* + \psi_j \tag{B.4}$$

где

$$W_j = [W_j^* W_j^*]^T; \lambda_j = [\lambda_j^* \lambda_j^*]^T;$$

$$F_1 = \begin{bmatrix} F^* & 0 \\ 0 & F^* \end{bmatrix}; G^* = \begin{bmatrix} G^* & 0 \\ G^* & A \end{bmatrix}; Q^* = \begin{bmatrix} Q^* & 0 \\ 0 & Q^* \end{bmatrix}$$

Решение (B.3) имеет вид

$$\dot{\lambda}_\phi = B_{N-j} W_j \tag{B.5}$$

Здесь для получения структуры матрицы [B] используются рекуррентные соотношения:  $S_0 = (1-\alpha)$ ;  $B_{N-j+1} = [G^T S_{N-j} G + \alpha E_0]^{-1} [G^T S_{N-j} F]$ ;  $S_{N-j+1} = (1-\alpha)Q + F^T S_{N-j} F + F^T S_{N-j} G B_{N-j+1}$ .

Матрица весовых коэффициентов передаточной функции по Лапласу) имеет размерность  $M_1 \times L_Q$ , где  $M_1$  -размерность вектора  $V_j$ ;  $L_Q = (2p+4)(M_1 + M_2)$

( $M_2$  -размерность вектора  $V_j^*$ ; p- порядок стационарности приращений наиболее вариативной переменной вектора  $V_j$ ).

В данном случае так же связь между значениями измерений (параметрами) имеет соотношения:

$$A V_j^* = C. \tag{B.6}$$

$$A = A_0 + E = C_0 + D, \tag{B.7}$$

Откуда следует, что согласованную фильтрацию следует проводить так, что бы  $A_0 \dot{\lambda}_j^* = C_0$ , для чего необходимо выполнить условия

$$A_0 \dot{\lambda}_j^* + E_j^* = C_0 + D; A_0 \dot{\lambda}_j^* = C_0 + (D - E\dot{\lambda}_j^*) \tag{B.8}$$

В этой связи вводится критерий синтеза [29]:

$$\gamma_\alpha = M \sum_{j=1}^N [(1-\alpha)W_j^T Q_2 W_j + \alpha(D - E\lambda_j')^2]; G_2 = [G'A]^T;$$

$$F_2 = \begin{bmatrix} E' & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; Q_2 = \begin{bmatrix} Q' & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad (B.9)$$

т.е. данная задача синтеза сводится к оцениванию векторных СПСП-р контуров на фоне помех.

Решение (B.9) имеет вид  $H_j = B_{N-j} W_j + B_{1,N-j}$  ( $B, B_1$  - матрицы) определяемые алгоритмом- соотношением  $\lambda_j' = E_0^{-1} E^T (D - H_j)$  [24].

Г. Оценивание неизмеряемых переменных.  
В этом случае переменные объекты управления  $Z_j = AY_j + DV_j,$  (Г.1)

где  $V_j$  - вектор периодически измеряемых состояний (период «опроса» 0.1-15с);  $Y_j$  - вектор результатов лабораторных анализов;  $Z_j$  - вектор не измеряемых переменных состояний;  $A, D$  - матрицы параметров;  $j$  - дискретное время.

Здесь имеем случай процесс порядка  $p$  (СПСП-р):

$$M[\Delta^{p+1}f] = 0 \quad (Г.2)$$

В (Г.2)  $M$ -оператор математического ожидания;  $\Delta^p f$  - восходящая разность функции порядка  $p$ .

Эвристический критерий оценивания неизмеряемых параметров в соответствии с [26] формулируется в виде:

$$\gamma = M \sum_{j=1}^N [(\Delta^{p+1}Y_j)R\Delta^{p+1}Y_j + (\Delta^{p+1}Z_j)^T H(\Delta^{p+1}Z_j)] \quad (Г.3)$$

Где  $R, H$ - диагональные матрицы параметров;  $T$ - оператор транспонирования. Критерий (Г.3) характеризует  $\min$  СКО  $(p+1)$  приращений компонентов  $\gamma$  из (Г.1) следует, что  $\Delta^{p+1}Z_j = A\Delta^{p+1}Y_j + D\Delta^{p+1}V_j$  при значениях  $\Delta^{p+1}V_j = \Delta^{p+1}V_{j-1} + \eta_j$  ( $\eta_j$  - помеха) будем иметь:

$$\Delta^{p+1}Z_j = A\Delta^{p+1}Y_j + D\Delta^{p+1}V_{j-1} + D\eta_j. \quad (Г.4)$$

При введении в рассмотрение матриц и векторов:

$$X_j = [\Delta^{p+1}V_j \Delta^{p+1}Y_j \Delta^{p+1}Z_j]^T; m_{j-1} = \Delta^{p+1}Y_j \quad (Г.5)$$

$$F = \begin{bmatrix} I_1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad (Г.6)$$

$$G^T = [0I = A]; \omega_{j-1} = [\eta_j 0 D\eta_j]^T; Q = \begin{bmatrix} R & 0 \\ 0 & H \end{bmatrix} \quad (Г.7)$$

откуда (Г.4) и (Г.3) примут вид:

$$X_j = FX_{j-1} + Gm_{j-1} + \omega_{j-1} \quad (Г.8)$$

$$\gamma = M \sum_{j=1}^N [(X_j)^T Q X_j] \quad (Г.9)$$

т.е. данная задача сведена к задаче оценивания неизмеряемых координат объекта управления нестационарным процессом (Г.8) с аддитивными помехами  $\omega_{j-1}$  по квадратическому показателю качества (Г.9).

а) Решение задачи оценивания. Решение имеет вид:

$$m_j^0 = B_{N-j} X_j, \quad (Г.10)$$

Где  $m_j^0$  - оптимальные значения оценок координат объекта;  $B_{N-j}$  - матрица весовых коэффициентов, определяемых из рекуррентных соотношений:

$$S(0) = Q; B_{N-j+1} = [G^T S_{N-j} G]^{-1} [G^T S_{N-j} F];$$

$$S_{N-j+1} = Q + F^T S_{N-j} F + F^T S_{N-j} G B_{N-j+1}$$

из которых имеем  $B = [C00],$

где

$$C = [R + A^T H A]^{-1} A^T H D \quad (Г.11)$$

Которая не зависит от времени  $j$ .

б) Процедура оценивания неизмеряемых переменных.

Вначале вычисляется матрица  $C$  по (Г.11) при  $Y = Y_0$  и  $V = V_0$ .

Этап 1: проводится измерение  $V_0$  с периодом  $T \geq t_0$  ( $t_0$  - время периодических замеров).

Этап 2: проводятся замеры  $V_j$  с периодом  $t_0$ ,  $j=1, 2, \dots, [T/t_0]$ ,  $[a]$  - целая часть «а».

Этап 3: вычисляется  $Y_{j+1}$  как решение разностного уравнения  $D^{p+1}Y_{j+1} = C\Delta^{p+1}V_j$  порядка  $(p+1)$ :  $Y_{j+1} = \sum_{k=0}^p (-1)^k [pk]^T Y_{j+p-k+1} + C \sum_{k=0}^{p+1} (-1)^k [pk]^T Y_{j+p-k}$ , т.е. значение  $Y_{j+1}$  вычисляются с периодом  $t_0$ .

Этап 4: для оценивания неизмеряемых переменных  $Z$  применяется (Г.1) при использовании  $t_0$  периодических замеров.

Эффективность данного алгоритма в соответствии с [6,7] рассматриваться на примере управления процессом подачи кислорода при продувке ванны конвертера комплекса ДСП- конвертер (искомая не измеряемая переменная  $Z$ ). Координаты  $Z$  оценивается с помощью следующего уравнения связи (уравнения регрессии):

$$(z_j - a_0) = a_1 y_j + a_2 v_j \quad (Г.12)$$

где  $y_j$  - концентрация кислорода в потоке двуокиси углерода (лабораторное измерение);  $v_j$  - расход потока двуокиси углерода, измеряемый периодически («частота»);  $a_i, i=0, 1, 2$  - константы (коэффициенты параметров системы продувки)

В соответствии с рассмотренной методикой оценивания текущих значений «редко» (лабораторно) измеряемой концентрации  $Y_j$  проводится при  $p=2$  по соотношению:  $y_{j+1} = 2y_j - y_{j-1} + C[v_j - 2v_{j-1} - 2v_{j-2} + v_{j-3}]$ ;  $C = a_1 a_2 / (a_1^2 + 1)$ . Для получения оценок  $v_j$  в рабочем режиме с обновлением значений (Г.12).

Разработанные алгоритмы А-Г были реализованы при построении системы регулирования мощности комплекса ДСП-50-ПК на основе конвертера применительно к условиям и параметрам короткой сети указанной печи. Эти результаты приведены в табл. 2 (они адаптированы к условиям печи ДСВ -60)

В табл. 2 приведены параметры моделей элементов технологического процесса и моделей энергосбережения [4, табл. 6.3, стр 269-272, п.п 11,12,17,20,30, 35,36,43,45,47,58,60].

Таблица 2

Параметры автокорреляционной функции и характеристики спектральных процессов «короткой сети» печи ДСП-50

№	Автокорреляционная функция R <sub>x</sub> (τ)	Дисперсия D[x]=σ <sup>2</sup>	Энергетический спектр	$\frac{\sigma_x^2 \max}{\sigma_y^2 \max}$	$\frac{T_a}{T_y}$	β	$\bar{T}$	σ <sub>T</sub> <sup>2</sup>	λ <sub>3</sub>	m	χ <sup>2</sup>
1.	C <sup>2</sup> δ <sup>2</sup> (τ)	0	C <sup>2</sup>	2	1,24	0,10	17,6	53,9	0,20	2	7,1
2.	$\frac{C^2}{\pi\tau} \sin \omega_c \tau$	$\frac{C^2 \omega_c}{\pi}$	C <sup>2</sup> при  ω  ≤ ω <sub>c</sub> 0 при  ω  > ω <sub>c</sub>	3,1	1,43	0,15	12,8	45,1	0,35	2	17,4
3.	$C^2 \exp(-\alpha \tau )$ α – постоянная интегратора	C <sup>2</sup>	$\frac{2!^2 \alpha}{\alpha^2 + \omega^2}$	2,9	1,55	0,30	4,5	6,4	0,70	2	3,8
4.	C <sup>2</sup> exp(-ατ <sup>2</sup> )	C <sup>2</sup>	$C^2 \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}} \exp(-\omega^2 (4\alpha)^{-1})$	2,5	1,34	0,40	3,2	2,5	1,01	2	5,5
5.	$\frac{C^2}{\pi\tau} (\sin \omega_2 \tau - \sin \omega_1 \tau)$	$\frac{C^2}{\pi} (\omega_2 - \omega_1)$	0 при  ω  < ω <sub>1</sub> C <sup>2</sup> при ω <sub>1</sub> ≤  ω  ≤ ω <sub>2</sub> 0 при  ω  > ω <sub>2</sub>	2,6	1,61	0,50	2,8	1,9	1,23	2	4,3
6.	C <sup>2</sup> cos βτ exp(-α τ )	C <sup>2</sup>	$C^2 \alpha \left[ \frac{1}{\alpha^2 + (\beta + \omega)^2} + \frac{1}{\alpha^2 + (\beta - \omega)^2} \right]$	2,5	1,73	0,60	2,3	1,4	1,67	2	1,3
7.	$C^2 (\cos \omega_0 \tau + \frac{\alpha}{\omega_0} \sin \omega_0  \tau  \cdot \exp(-\alpha \tau ))$	C <sup>2</sup>	$\frac{4C^2 \alpha (\alpha^2 + \omega_0^2)}{[\omega^2 - (\omega_0 + \alpha)^2]^2 + 4\alpha^2 \omega^2}$	3,1	2,05	0,55	3,8	5,6	1,53	2,5	4,2
8.	$C^2 \left[ 1 + \alpha \tau  + \frac{\alpha^2 \tau^2}{3} \times \exp(-\alpha \tau ) \right]$	C <sup>2</sup>	$\frac{16C^2 \alpha^5}{3(\alpha^2 + \omega^2)^3}$	3,5	2,11	0,43	4,2	7,3	2,11	3	3,9
9.	C <sup>2</sup> (1 + α τ ) exp(-α τ )	C <sup>2</sup>	$\frac{4\alpha^2 C^2}{(\alpha^2 + \omega^2)^2}$	3,5	1,96	0,30	5,2	6,2	1,12	3	8,2
10.	C <sup>2</sup> cos ω <sub>0</sub> τ	C <sup>2</sup>	C <sup>2</sup> S(ω - ω <sub>0</sub> )	3,2	1,76	0,40	4,8	3,5	0,91	3	7,6
11.	$0,5 \sum_{k=1}^n C_k^2 \cos \omega_k \tau$	$0,5 \sum_{k=1}^{\infty} C^2$	$0,5 \sum_{k=1}^n C_k^2 \delta(\omega - \omega_k)$	2,5	1,42	0,50	3,2	6,7	0,55	2,5	8,4
12.	0,5C <sup>2</sup> R(τ)cos ω <sub>0</sub> τ	0,5C <sup>2</sup>	$0,25 \sum_{k=1}^n C^2 \delta(\omega - \omega_0)$	3,2	1,56	0,70	2,9	5,8	3,9	≈2,9	10,6

Примечание: C – уровень ступени напряжения РПН; σ<sup>2</sup><sub>x max</sub>, σ<sup>2</sup><sub>y max</sub> – дисперсии тока на двух соседних ступенях РПН; T<sub>a</sub>, T<sub>ц</sub> – постоянные величины электромагнитной дуги и цепи («короткой сети»); β – постоянная (коэффициент демпфирования) затухания;  $\bar{T}$  – постоянная ванны; σ<sub>T</sub><sup>2</sup> – дисперсия температуры расплава ванны; λ<sub>3</sub> = (ln t (T<sub>3</sub>)<sup>2</sup> / σ<sup>2</sup>) / T<sub>3</sub>; m = ln t [(T<sub>3</sub>)<sup>2</sup> σ<sup>2</sup> T<sub>3</sub>] - 1; χ<sup>2</sup> – хи-квадрат (критерий); α – корень характеристического уравнения; ω – частота; δ – коэффициент нормирования автокорреляционной функции

**Заключение**

Разработанная методология информационного обеспечения систем технологической автоматизации вероятных (детерминированных и стохастических) процессов электрометаллургии качественной стали и преимущественных сплавов чёрных и тяжёлых чёрных и цветных металлов по технологии высшего уровня, обеспечивает повышение вычислительной способности информационно – управляющего комплекса, как на локальном, так и на организационно-экономическом уровне. Системы технологической автоматизации инновационного типа решают вопросы эффективной реализации первоочередных малозатратных и перспективных

мероприятий по энергоэффективному использованию первичных и вторичных энергоресурсов и бросовых материалов.

**Литература**

1. Энергетична стратегія України на період до 2030 р. та подальшу перспективу від 15.03.2006 № 145 Київ: КМ України, 2006 р. 121 с.
2. Комплексна програма енергозбереження Запорізької області. Запоріжжя: обласна науково-технічна рада з енергозбереження, 1997 р. 162 с.

3. Актуальні питання методології та практики науково-технічної політики (Під ред. Б.А, Малицького. Київ Центр досліджень науково потенціалу та історії науки ім. Г.М. Доброва НАН України. 2001 р. 201 с.
4. Труфанов И.Д. Системы оптимизации режимов работы мощных дуговых сталеплавильных печей на основе интегрального критерия энергосбережения (Дисс докт. Техн. Наук). Запорожье: 2001 г. 530 с.
5. Лютый А.П. Энергоуправление как база энерго экономической эффективности электрометаллургии Украины. Восточно-Европейский журнал передовых технологий: №6/1(36), 2008 г. С 11-21.
6. Энергосберегающее управление электротехнологическим комплексом как база повышения энергоэффективности металлургии стали. И.Д. Труфанов, В.П. Метельский, К.И. Чумаков и др. Восточно-Европейский журнал передовых технологий: №6/1(36), 2008 г. С 22-29.
7. Труфанов И.Д. Чумаков К.И., Лозинский О.Ю., Паранчук Я.С. системометодология разрешения задач повышения энергоэффективности электрометаллургии стали. Восточно-Европейский журнал передовых технологий: №12(304), 2008г. С 39-45.
8. Лютый А.П. высокоэффективные технологии энергосбережения в условиях электрометаллургического завода. Энергетика та електрифікація, №12(304), 2008 г. С. 33-38.
9. Системометодология развития электрометаллургии стали и сплавов как база реализации программ энерго-ресурсосбережения в Запорожском регионе. И.Д. Труфанов, А.П. Лютый, В.П. Метельский. Восточно-Европейский журнал передовых технологий: №1/1 (43),2010 с 35-51.
10. Збірник основних та нормативно-правових актів, які визначають функції урядового органу державного управління – Державної інспекції з енергозбереження. Київ: Державна інспекція з енергозбереження, 2007. 1193 с.
11. Лозинський О.Ю. Системи керування режимом дугових сталеплавильних печей на основі імовірнісних моделей процесів. –Львів: Дис... докт. техн. Наук, 1996 -367с.
12. Ситуаційне керування в дугових сталеплавильних печах: Монографія / Л.Д. Костинюк, А.О. Лозинський, О.Ю. Лозинський та ін.; За ред. О.Ю. Лозинського, Я.О. марущака. –Львів: НУ «Львівська політехніка», 2004.-382с.
13. Методика визначення неефективного використання паливно-енергетичних ресурсів М-0.00013184. О.022.-01. –Київ Держкоменергозбереження, 2001.219с.
14. Эффективное использование и альтернативная энергетика / А.Н, Кривопапов, И. Классен, Э.П. Островский и др.; под ред. А.К. Шидловского. –Киев:
15. Энергосбережение в Украине: Справочник / Науч. Ред.. О.И. Голобова. –Киев:200. -252 с.
16. Паливно енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття /А.К. Шидловський, М.П. Ковалко, І.М. Вишневецький та ін.; Під заг. Ред. А.К. Шидловського, М.П. Ковалка. –Київ, УЕЗ, 2001.-400 с.
17. Енергетичні ресурси та потоки /А.К. Шидловський Ю.О. Віхорев, В.О. Гінайло та ін.; Під загал. Ред. А.К. Шидловського. –Київ УЕЗ, 2003.-472с.
18. Енергозбереження в ринкових умовах: Матеріали семінару. –Київ: Український центр перепідготовки та навчання, 2004. -223с.
19. Информационный бюллетень: Нормативно-правовые аспекты обеспечения режимов потребления электрической и тепловой энергии в современных условиях хозяйствования. –Запорожье: Государственная инспекция Энергонадзора, 2004.-112с.
20. Краткий каталог продукции. –Запорожье: Электрометаллургический завод им. А.А. Кузьмина «Днепроспецсталь», 2008. -10с.
21. Енергетика світу та України. Цифри та факти /Г.К. Вороновський, С.П. Денисюк, О.В. Кириленко та ін.; Київ: Українські енциклопедичні знання, 2005.-404с.
22. Енергоефективність та відновлюванні джерела енергії /С.М. Бевз, Б.І. Бондаренко, О.Ф. Буткевич та ін.; під заг. Ред. А.К Шидловського, М.П. Ковалка. –Київ: Українські енциклопедичні знання, 2007. -560с.
23. Дегтярёв Ю. И. Исследование операций. –М.:Высшая школа, 1986. -320 с.
24. Зыков А.А. Основы теории графов. – М.: Наука, 1987. -384с.
25. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и её инженерные приложения. –М.: Наука, 1991. -384с.
26. Вентцель Е.С, Овчаров Л.А. Теория вероятностей и её инженерные приложения. –М.: Наука, 1988. -480с.
27. Нечёткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред.. Д.А. Поспелова. –М: Наука, 1986. - 311с.
28. Справочник по теории автоматического управление /Под ред. А.А. Красовского. –М.: Наука 1987.-712с.
29. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. –М.: Наука 1986.616с.
30. Кузнецов В.Г., Куренный Э.Г. Лютый А.П. Электромагнитная совместимость. Несимметрия и несинусандалность напряжения. –Донецьк: Норд-Пресс, 2005. – 250 с.