

**ПРИМЕНЕНИЕ УНИФИЦИРОВАННЫХ ПОДСИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
ДЛЯ ЭЛЕКТРОПЕЧНЫХ АГРЕГАТОВ ФЕРРОСПЛАВНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ  
С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ**

*Анотація. У статті розглянута проблема залучення інвестицій у підвищення рівня автоматизації електропічних агрегатів малої і середньої потужності (від 5 до 16 МВ\*А) ферросплавного виробництва.*

*Проведено аналіз причин тривалого терміну окупності повномасштабних автоматизованих систем управління технологічними процесами на потужних (від 25 до 80 МВ\*А) ферросплавних електропічах.*

*Наведено обґрунтування доцільності інвестицій в автоматизацію електропічів малої і середньої потужності. Запропоновано економічний варіант виконання і впровадження «під ключ» систем управління для таких об'єктів у вигляді типових уніфікованих підсистем керування («коробочна версія») окремими режимами технологічного процесу виробництва ферросплавів, реалізований відповідно до концепції відкритих систем на базі сучасних програмно-технічних комплексів, SCADA-систем і розвинених мережових технологій. На закінчення наводяться техніко-економічні показники електропічів малої і середньої потужності, досягнення яких забезпечує ефективність і скорочення терміну окупності інвестицій.*

*Ключові слова: інвестиції, електропічний агрегат, ферросплавне виробництво, автоматизована система управління технологічними процесами, програмно-технічний комплекс, типова уніфікована підсистема, ефективність, термін окупності.*

*Аннотация. В статье рассмотрена проблема привлечения инвестиций в повышения уровня автоматизации электропечных агрегатов малой и средней мощности (от 5 до 16 МВ\*А) ферросплавного производства.*

*Проведен анализ причин длительного срока окупаемости полномасштабных автоматизированная система управления технологическими процессами на мощных (от 25 до 80 МВ\*А) ферросплавных электропечах.*

*Приведено обоснование целесообразности инвестиций в автоматизацию электропечей малой и средней мощности. Предложен экономичный вариант исполнения и внедрения «под ключ» систем управления для таких объектов в виде типовых унифицированных подсистем управления («коробочная» версия) отдельными режимами технологического процесса производства ферросплавов, реализованный согласно концепции открытых систем на базе современных программно-технических комплексов, SCADA-систем и развитых сетевых технологий.*

*В заключение приводятся технико-экономические показатели ТОО малой и средней мощности, достижение которых обеспечивает эффективность и сокращение срока окупаемости инвестиций.*

*Ключевые слова: инвестиции, электропечной агрегат, автоматизированная система управления технологическими процессами, программно-технический комплекс, типовая унифицированная подсистема, ферросплавное производство, эффективность, срок окупаемости.*

*Summary. The article deals with the attraction of investment in the improvement of automation of low and medium powered electric furnace units (5 to 16 MWA) used in ferroalloy manufacturing.*

*Reasons are analyzed for the long payback period of full-scale automated process control systems at high-powered ferroalloy furnaces (25 to 80 MWA).*

*Rationale is provided for investment in the automation of low and medium powered electric arc furnaces. A cost effective solution is proposed for turnkey design and implementation of control systems for such facilities in the form of unified control systems (box version) for individual ferroalloy manufacturing process modes; the said solution is consistent with the concept of open systems based on modern software and hardware complexes, SCADA systems and advanced network technologies.*

*In conclusion, the technical and economic performance is specified for low and medium powered process control objects which performance, when achieved, ensures a shorter payback period.*

*Keywords: investment, electric furnace unit, automated process control system, software and hardware complex, typical unified subsystem, ferroalloy production, efficiency, payback period.*

### Постановка проблемы

В последние 20-25 лет одной из характерных тенденций технического прогресса ферросплавного производства, как в Украине, так и в странах бывшего СНГ, является внедрение на его технологических объектах управления (ТОУ) полномасштабных систем автоматизированного управления технологическими процессами (АСУТП).

Основные из них – это мощные электропечные агрегаты (от 27 до 80 МВ\*А), а также смежные с ними технологические системы дозирования, поточно-транспортных линий (ПТС) подготовки и транспортировки сырьевых материалов, подачи и загрузки шихты в бункеры электропечи, газоочистные установки, узлы взвешивания и учета входного сырья и готовой продукции и др.

Практически для всех строящихся мощных электропечных агрегатов затраты на оснащение АСУТП предусматриваются на этапах проектирования и строительства ТОУ.

Целесообразность такого подхода подтверждает и зарубежный опыт применения АСУ ТП на ТОУ аналогичного назначения.

В течение длительной эксплуатации подтвердился тот факт, что АСУ ТП мощных ТОУ обеспечивает не только повышение культуры производства и удобство обслуживания, но и возможность улучшения таких технико-экономических показателей, как повышение производительности электропечного агрегата, снижение удельных расходов электроэнергии, электродной массы и шихтовых материалов на единицу продукции в тоннах. Повышается экономичность и надежность оборудования, снижается число аварийных остановов оборудования, в том числе по вине оперативного персонала и т.д., что в конечном счете приводит к сокращению не производственных затрат и увеличению прибыли предприятия. Объясняется это тем, что мощные электропечные агрегаты потребляют значительные объемы электроэнергии (в среднем до одного млн. кВт\*ч/сутки и более), а также сырьевых материалов и электродной массы. При таких объемах производства даже относительно небольшой процент (3-4 %) снижения удельных расходов электроэнергии, материалов на единицу продукции (в тоннах), и/или повышения извлечения ведущего элемента в сплав, снижение

простоев и др. за счет повышения качества управления технологическим процессом экономический эффект от внедрения АСУТП обеспечивается всегда.

Вместе с тем многолетний опыт создания, внедрения и эксплуатации АСУТП на таких мощных ТОО показал, что их применение требует существенных финансовых затрат, времени и людских ресурсов. Поэтому на практике длительность окупаемости инвестиций внедренных АСУТП составила не менее 3-4 лет. Этот результат сформировал у заказчиков мнение о нецелесообразности оснащения электропечных агрегатов малой и средней мощности (от 5 до 16 МВ\*А) полномасштабными АСУТП из-за рисков получить еще более низкие показатели эффективности инвестиций.

Однако в настоящее время на ферросплавных заводах постсоветского пространства продолжается эксплуатация большого числа электропечных агрегатов этого диапазона мощностей. С учетом временно законсервированных ТОО они составляют около 70 % от общего количества электропечных агрегатов. При каждом капремонте или реконструкции этих ТОО возникает необходимость существенного повышения уровня их автоматизации вплоть до внедрения АСУТП, что, в свою очередь требует определения рационального объема капиталовложений для реализации этих мероприятий. Тем более, что успешный опыт внедрения АСУТП на электропечах малой (11,15 МВ\*А) и средней мощности (от 16 МВ\*А до 25 МВ\*А) имеется [1].

Вместе с тем переход ферросплавных предприятий (компаний, холдингов, других структур) на рыночные отношения, острая конкуренция на рынке ферросплавов, участвовавшие периоды кризисного состояния металлургии и экономики в целом привели к более жестким требованиям по обоснованию технико-экономической целесообразности внедрения АСУТП.

Следует отметить, что даже во времена плановой экономики не каждое предприятие в состоянии было самостоятельно, без централизованного финансирования, внедрить АСУТП.

В этих условиях привлечение внешних инвестиций проблематично, поэтому заказчики АСУТП обычно вынуждены реализовать эти проекты за счет собственных средств. Заинтересованность заказчиков в скорейшей окупаемости инвестиций самоочевидна.

Таким образом, в настоящее время возникла проблема поиска путей существенного повышения эффективности инвестиций при автоматизации ТОО ферросплавного производства.

#### **Актуальность исследования**

Актуальность исследования причин низкой эффективности инвестиций в автоматизацию ТОО ферросплавного производства обусловлена следующим факторами.

Во-первых, самой постановкой проблемы;

Во вторых, низким качеством высоковольтного питания и нестабильностью качества подготовки состава шихты, загружаемой в электропечные агрегаты. Причем, ситуация усугубляется отсутствием инструментов упреждающего распознавания или прогнозирования возникновения этих возмущающих воздействий как по каналу электропитания электропечного агрегата, так и по каналу стехиометрического состава шихты. В результате технологические процессы в электропечных агрегатах часто находятся в переходных режимах, что

резко повышает удельный расход электроэнергии при одновременном снижении производительности, что приводит к потерям производства и, как следствие, ухудшению всех технико-экономических показателей ТОО.

В-третьих, многообразием и несовершенством методик определения экономического эффекта от внедрения АСУТП, так как в силу различных технологических, организационных, экономических, технических и методологических причин наблюдается многообразие системных решений АСУТП даже на однотипных ТОО одного цеха, не говоря уже о предприятиях. Поэтому существующие методы оценки технико-экономической эффективности АСУ ТП устарели и требуют усовершенствования выбора критериев оценки капиталовложений и эксплуатационных затрат при разработке, внедрении и эксплуатации АСУТП с учетом особенностей рыночных отношений в ферросплавном производстве.

В-четвертых, действием субъективного фактора при формировании технико-экономических показателей работы ТОО (отчетов, справок и др.), используемых для расчета экономического эффекта от внедрения АСУТП соответствующими службами заказчика. Практически из-за ссылок на «коммерческую тайну» отсутствуют достоверные данные о ценах на сырьевые материалы, потребляемую электроэнергию и реализованную продукцию. Кроме того, корпоративные интересы руководителей участков, цехов и производственно-технических отделов предприятия приводят усреднение (каждым на своем уровне) фактических показателей работы всех ТОО, что нивелирует результаты функционирования АСУТП. Причем такой подход сохраняется даже на ТОО, где организован автоматизированный учет входного сырья, электроэнергии и продуктов плавки после выпуска, разлива и подготовки к отпуску потребителям.

#### **Изложение основного материала**

История развития работ по созданию и внедрению АСУТП показывает, что пути решения поставленной проблемы предлагались еще на постановочной стадии начального периода автоматизации производственных процессов. Уже первые результаты создания и внедрения многочисленных АСУ того периода подтвердили, что это «очень трудоемкий и затратный процесс, требующий не только больших временных затрат, финансовых вложений, но и участия специалистов» [2]. В то же время ожидаемого быстрого эффекта от внедрения таких дорогих и сложных в разработке систем не получилось. Окупаемость инвестиций составила два-три года и более.

Одной из основных причин такого результата являлся сравнительно низкий уровень комплекса технических средств (КТС) автоматизации отечественного (как правило, на тот период) производства.

Другой основной причиной являлся низкий уровень унификации и отсутствие единых технических решений даже для аналогичных ТОО. Эти системы отличаются несовместимостью между собой и, тем более с современными.

Поэтому основной тенденцией дальнейшего развития АСУТП стала типизация и унификация их проектных решений. В это же время впервые предлагался вариант, использующий преимущества такого подхода – создание разработчиками систем типовой («коробочной») версии в виде отдельных подсистем, содержащих набор аппаратных средств и программных модулей, с определенным кругом функций и решаемых задач. Причем конфигурацию

подсистем в дальнейшем по желанию заказчика можно изменять с учетом конструктивных особенностей ТОО и алгоритмов управления технологическим процессом.

Безусловно такой экономически оправданный подход способствовал бы созданию предпосылок для снижения затрат на внедрение последующих разработок АСУТП, но в условиях централизованного финансирования таких работ из единого фонда развития науки и техники (ЕФРНТ) отсутствовала мотивация создания типовой унифицированной подсистемы управления. Длительный период «гигантизма» при строительстве новых ферросплавных заводов и цехов с мощными ТОО диктовал необходимость первоочередного их оснащения «большими» АСУТП. Иногда они приобретались в комплекте с закупками ТОО у зарубежных фирм, либо отдельно в виде закрытых, законченные решений «под ключ».

Другим весомым сдерживающим фактором реализации «коробочной» версии типовой унифицированной подсистемы управления явилось отсутствие на тот период стандартизации сетевых технологий.

Акционирование и капитализация средств ферросплавных предприятий на постсоветском пространстве в корне изменили подход к вложению инвестиций в проведение капремонтов и реконструкции действующих, а также строительство новых ТОО ферросплавного производства.

Главными аргументами необходимости выполнения этих мероприятий являются снижение срока окупаемости инвестиций и приемлемая величина полученной прибыли. Однозначно, что это касается и целесообразности оснащения ТОО современными АСУТП взамен локальных средств автоматизации, либо модернизацией уже существующих, но не соответствующих современным функциональным требованиям, а также физически и морально устаревших систем управления.

Учитывая преобладающее количество эксплуатируемых электропечей малой и средней мощности в цехах ферросплавного производства именно для таких ТОО в настоящее время сформировались все условия успешного применения «коробочной» версии в качестве унифицированных подсистем АСУТП с точки зрения наиболее приемлемого и экономически оправданного решения поставленной проблемы.

Этот вывод подтверждается 30-летним опытом ПрАО «ВЕГА ПЛЮС» исследований ТОО с целью их автоматизации, а также последующей разработки, внедрения и анализа функционирования АСУТП объектов ферросплавного производства.

Аргументы следующие.

1. Высокая степень подготовленности ТОО к автоматизации [3]:

- выполнена декомпозиция ТОО, обеспечившая типизацию подсистем:

- а) дозирования и шихтоподачи;
- б) энерготехнологического режима;
- в) газоочистки;

- по каждой подсистеме:

- а) определен рациональный объем входной и выходной информации;
- б) выполнена унификация входных и выходных сигналов ТОО;

-используются типовые алгоритмы сбора, обработки и представления информации;

-разработаны унифицированные алгоритмы управления режимом непрерывного и порционного дозирования с регистрацией расхода дозируемых компонентов шихты и общего ее потребления;

-используются типовые алгоритмы учета потребляемой электроэнергии;

-разработан унифицированный алгоритм управления электротехнологическим режимом, в т.ч. режимами перепуска и обдува электродов;

-разработаны унифицированные алгоритмы управления режимами «мокрой» и сухой газоочисток.

2. Высокий уровень представленных на рынке аппаратных и программных средств автоматизации.

Современный этап развития АСУТП характеризуется применением промышленных технологий создания и внедрения АСУТП на базе серийно выпускаемых промышленных контроллеров, совместимых с персональными компьютерами и мощных программно-технических комплексов (ПТК) поддержки программирования АСУТП – SCADA систем, а также развития и стандартизации сетевых технологий.

3. Возможность реализации «коробочной» версии АСУТП на основе концепции открытых систем. Такой подход позволяет совмещать аппаратно-программные средства различных производителей снизу доверху и обеспечивать проверку всей системы. При этом значительно уменьшается общая стоимость системы в результате применения более дешевого оборудования (при аналогичных функциональных характеристиках), частичной и поэтапной замене имеющихся на предприятии аппаратно-программных средств.

Важнейшими свойствами открытых систем являются:

-мобильность прикладных программ;

-мобильность персонала;

-четкие условия взаимодействия частей системы с использованием открытых спецификаций.

4. Возможность сокращения сроков и снижения стоимости внедрения подсистем до 10-15 % за счет развития аутсорсинга, позволяющего достигать экономии средств, гарантий надежности и высокого качества предоставляемых инжиниринговых услуг [4].

Это обусловлено тем, что подрядчик (аутсорсер) имеет возможность специализироваться в узкой области производства или услуг, сосредотачивая у себя лучших специалистов, используя наиболее современное оборудование, применяя передовые технологии и постоянно накапливая опыт обслуживания множества клиентов. Сочетая собственный и заимствованный опыт, аутсорсер постоянно улучшает качество предоставляемых услуг и всегда предлагает готовое к применению решение.

Таким готовым типовым решением в нашем случае является «коробочная» версия АСУТП (здесь и далее по тексту – «унифицированная подсистема АСУТП»), реализованная согласно концепции открытых систем на базе современных ПТК, SCADA-систем и стандартизации развитых сетевых технологий.

Обслуживая многих заказчиков, аутсорсер распределяет накладные расходы и оптимизирует экономику работ, что дает возможность снизить цены на

оказываемые инжиниринговые услуги при одновременном повышении их качества.

При этом заказчик покупает услуги, не неся издержки, связанные с содержанием специализированного подразделения с квалифицированным персоналом и со сложным оборудованием. Это позволяет предприятию-заказчику сократить издержки на развитие, т.к. появляется возможность приобретения необходимых услуг без дополнительных расходов и по оптимальным ценам. Договор аутсорсинга дает право заказчику получить желаемую услугу, выполненную на высоком профессиональном уровне и во многих случаях с обеспечением материальной ответственности аутсорсера за качество их выполнения.

5. Упрощение обслуживания установленного оборудования за счет его стандартизации.

6. Возможность поэтапной реализации подсистем

В итоге заказчику поставляется подсистема, содержащая как аппаратную составляющую средств автоматизации, так и программное обеспечение. Функциональность подобного решения может быть достаточно широкой, в том числе и содержащей интеллектуальную составляющую.

7. Физически подсистема состоит из серии стандартных шкафов с набором модулей и выполняемых функций мониторинга и управления. Благодаря удобству и относительной легкости установки и монтажа комплекса технических средств унифицированной подсистемы АСУТП специалисты в период внедрения могут больше внимания уделить специфике работы исполнительных механизмов ТОО и особенностям технологического процесса с целью повышения качества его управления.

Следует отметить, что автоматизация ферросплавного производства в настоящее время и в ближайшем будущем будет связана главным образом с модернизацией и реконструкцией функционирующих АСУТП, которые сопровождаются более значительной долей внедрения оборудования и услуг, чем при новых капиталовложениях.

#### **Перспективы использования результатов исследования**

В настоящее время разработаны и готовы к применению по заказам потребителей следующие типовые унифицированные подсистемы АСУТП ферросплавного производства, срок окупаемости которых не превышает срока гарантийных обязательств - 12 месяцев со дня приемки в промышленную эксплуатацию:

- программно-технический комплекс для автоматического управления электротехнологическим режимом руднотермических электропечей (ПТК-САУРТП);

- программно-технический комплекс для автоматического управления процессом дозирования, транспортировки и загрузки шихты в печные бункеры (ПТК-САУДО);

- программно-технический комплекс для автоматического управления процессом газоочистки руднотермических электропечей (ПТК-ГО).

Следует отметить, что ПТК-САУРТП имеет опцию, которая при заказе позволяет дополнять свой состав интеллектуальными датчиками, разработанными ПрАО «ВЕГА ПЛЮС» специально для руднотермических печей:

- величини перепуска электрода с интерфейсным выходом для непосредственной связи с контроллером по сети Ethernet;
- номера ступени переключателя ступеней напряжения печного трансформатора.

Вышеупомянутые типовые унифицированные подсистемы АСУТП (далее – «подсистемы») имеют трехуровневую иерархическую структуру, как наиболее гибкую и универсальную с точки зрения надежности функционирования, диагностирования и устранения аварийных ситуаций, а также накопления и сохранности баз данных (БД) [1]. При этом создание подсистем выполнено согласно концепции открытых систем, использующих стандартные компоненты и обладающих такими свойствами, как модульность и масштабируемость.

На среднем уровне подсистем применяются программируемые логические контроллеры (PLC) таких известных фирм, как Siemens, GE IP, Rockwell Automation, Advantech, ABB и др. Выбор этих компонентов автоматизации для конкретной подсистемы определяется по желанию заказчика.

Для верхнего уровня подсистем используются промышленные компьютеры, основу ПО которых составляют:

- операционная система Microsoft семейства Windows, которая поставляется в стандартной комплектации, установленной производителем;
- пакеты SCADA-систем.

Компьютеры верхнего уровня подсистем выполняют функции АРМ операторов и обеспечивают хранение и анализ поступившей информации, ее визуализацию, учет и архивирование данных, а также взаимодействие с оператором. Кроме того, ОС Microsoft семейства Windows используется в качестве шлюза между SCADA-системой и локальной вычислительной сетью Ethernet цеха.

Пакеты SCADA-систем представлены следующими компонентами:

- для промышленных контроллеров Simatic S7-1200/1500 фирмы Siemens – Simatic WinCC Advanced/Professional, которая включает СУБД MS SQL, предназначенную для сбора, отображения, архивации данных и реализации интерфейса оператора;
- для промышленных контроллеров фирмы GE IP, реализованных на базе линейки контроллеров RX3i – SIMPLICITY HMI;
- для промышленных контроллеров Control Logix фирмы Rockwell Automation – Factory Talk View Site Edition фирмы Rockwell Software.

Подключение шкафов подсистем может выполняться без отключения оборудования ТОО, либо в периоды проведения его планового обслуживания (ППР).

Срок выполнения инжиниринговых услуг (поставка, монтаж, пусконаладочные работы и сдача в промышленную эксплуатацию) по внедрению типовых универсальных подсистем АСУТП «под ключ» составляет от 3 до 5 месяцев и определяется, в основном, сроками поставки комплектующих ПТК.

#### **Выводы**

На основании анализа степени подготовленности электропечных агрегатов малой и средней мощности МВ\*А (от 5 до 16 МВ\*А) к оснащению их современными средствами автоматизации показана техническая возможность и экономическая целесообразность привлечения инвестиций для внедрения АСУТП на этих многочисленных ТОО.



Предложен и реализован подход, позволяющий в настоящее время уменьшить финансовые затраты и длительность внедрения современных систем управления, что обеспечивает получение гарантированного экономического эффекта при сокращении срока окупаемости инвестиций, а также получение прибыли. Сущность подхода заключается в применении систем управления типовой («коробочной») версии в виде отдельных унифицированных подсистем АСУТП, реализованных на базе современных ПТК, концепции открытых систем и сетевых технологий. ПТК содержат набор аппаратных средств и программных модулей, с определенным кругом функций и решаемых задач. Причем конфигурацию подсистем в дальнейшем по желанию заказчика можно изменять с учетом конструктивных особенностей ТОО и алгоритмов управления технологическим процессом. Такой подход позволяет совмещать аппаратно-программные средства различных производителей снизу доверху и обеспечивать проверку всей подсистемы. При этом значительно уменьшается общая стоимость подсистемы в результате применения более дешевого оборудования при аналогичных функциональных характеристиках.

Другим существенным резервом реальной возможности сокращения сроков и снижения стоимости применения унифицированных подсистем АСУТП (до 10-15%) является развитие аутсорсинга, позволяющего достигать экономии средств и снижения длительности окупаемости инвестиций, гарантий надежности и высокого качества предоставляемых инжиниринговых услуг, упрощающих и удешевляющих эксплуатацию этих подсистем управления.

В заключение отметим, что предложенный подход позволил выполнить типизацию и унификацию проектных решений подсистем управления ТОО ферросплавного производства и разработать ряд унифицированных подсистем АСУТП: ПТК-САУРТП, ПТК-САУДО и ПТК-ГО,- готовых к внедрению «под ключ» по заявкам заказчиков в течение 3-4 месяцев и сроками окупаемости инвестиций в течение периода гарантийных обязательств поставщика системы. Реализация таких подсистем обеспечивает достижение следующих показателей экономического эффекта:

- увеличение производительности электропечей на 5-7 %;
- снижение удельного расхода электроэнергии на 4-6 %;
- снижение расхода электродов на 3-5 %.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Основные направления автоматизации ферросплавных процессов и агрегатов/ Свищенко В.Я., Леднев М.С.//Ключевые аспекты развития электрометаллургической отрасли. Материалы VI научно-технической конференции УкрФА.- Киев: 2014.-59-69 с.
2. Модели автоматизированных систем управления в СССР в 1950–1980-е гг. / Стрюкова Е.П. // Гуманитарные науки в Сибири. 2012. №4.- 70-73 с.
3. Годына В.В., Свищенко В.Я., Леднев М.С. Автоматизация технологических процессов ферросплавного производства// Совершенствование технологии и оборудования в производстве кремния и кремнистых ферросплавов: Сборник научных трудов, Красноярск, изд. ООО «Русал ИТЦ», 2012, С.82-92.
4. Электронный ресурс: [www.adastra.ru](http://www.adastra.ru). Что такое промышленный аутсорсинг и чем он полезен для бизнеса. Опубликовано: 10 Июль, 2013.