

# ИНТЕГРАЦИЯ ДАННЫХ СИСТЕМ ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В «УМНОЕ» ПРОИЗВОДСТВО НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ Industry 4.0

Н.В. Козак, Р.А. Нежметдинов, Л.И. Мартинова (ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»)

Рассмотрены тенденции построения современных промышленных предприятий, проведен анализ систем логического управления и их соответствия концепции Industry 4.0. Предложена архитектурная модель подсистемы логического управления и диагностической зачда системы ЧПУ с возможностью передачи данных на более высокие уровни управления для интеграции в цифровое машиностроительное производство. Представлены практические аспекты решения задачи логического управления на примере станка наклонной компоновки.

Ключевые слова: логическое управление, контроллер, ЧПУ, ПЛК, подсистема диагностики, технологический процесс, Industry 4.0, разделяемая память.

## Введение

Развитие общества в данный момент времени можно охарактеризовать переходом от индустриального этапа к постиндустриальному, основу которого составляет информация. Идет изменение средств сбора, обработки и передачи информации, которые развиваются в сторону мобильности (смартфоны, планшетные и одноплатные компьютеры). При этом для доступа к «большим» данным используют глобальную сеть Internet и облачные ресурсы [1]. Указанные изменения коснулись и технологий, применяемых в промышленности, где происходит переход к концепции Industry 4.0, предполагающей интеграцию в единое информационное пространство: модели данных, модели взаимодействия объектов, динамической модели, модели функционирования объекта управления и моделей сопровождающих их процессов в рамках глобальной информационной системы формирования стоимости изделия.

Модель функционирования объекта является наиболее сложной, так как связана с объектами, работающими в режиме реального времени и обеспечивающими автоматизацию промышленных технологических систем [2]. Рассмотрим подход к построению модели подсистемы логического управле-

ния и диагностики системы ЧПУ с возможностью передачи данных на более высокие уровни управления для интеграции в цифровые машиностроительные производства. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения государственного задания (№ 2.1237.2017/4.6) [3,4].

## Анализ требований концепции Industry 4.0

В автоматизации машиностроительных производств широко используются системы логического управления, основанные на ПЛК. Также все большую популярность приобретают более современные средства автоматизации, такие как программно-реализованные логические контроллеры (Soft PLC) [5, 6] и контроллеры автоматизации (PAC — programmable automation controller). Но ни одно из этих средств в полной мере не соответствует всем аспектам концепции Industry 4.0 (таблица).

Система логического управления, реализованная с поддержкой концепции Industry 4.0 должна иметь канал взаимодействия с системами управления жизненным циклом изделия (Product Lifecycle Management, PLM), что позволит оперативно передавать информацию о состоянии материально-технической базы отдельных производственных узлов

Таблица. Анализ соответствия систем логического управления концепции Industry 4.0

Требования концепции Industry 4.0	Функциональность систем логического управления			
	ПЛК	РАС	Soft PLC	Контроллер в концепции Industry 4.0
Управление жизненным циклом изделия	Связь с PLM системами с использованием промежуточного программно-аппаратного звена сбора и обработки информации			Связь с PLM системами напрямую
Работа с большими данными	–	Зависит от конкретной программной реализации		Есть ресурсы для работы с большими объемами данных
«Умное производство»	Поддержано отдельными флагманскими моделями	Зависит от конкретной программно-аппаратной реализации		Реализуют концепцию умного производства
Кибер-физические системы	Способны работать в едином сетевом пространстве предприятия, если оно реализовано с поддержкой стандартов конкретного производителя оборудования			Работают в едином сетевом пространстве предприятия
«Интернет вещей»	Поддержан отдельными флагманскими моделями	Имеют возможность выхода в глобальную сеть	Зависит от аппаратной платформы	Имеют возможность выхода в глобальную сеть
Возможность интеграции в единую систему оборудования различных производителей	На уровне аппаратных сигналов		Зависит от аппаратной платформы и реализованных протоколов	Реализует полноценную синхронизацию на основе мультимедийных протоколов
	–	По промышленным протоколам, ограничено		
Функциональная совместимость	Поддержка определенного стандарта и протокола связи (в зависимости от конкретного производителя)			Поддержка всех наиболее распространенных стандартов

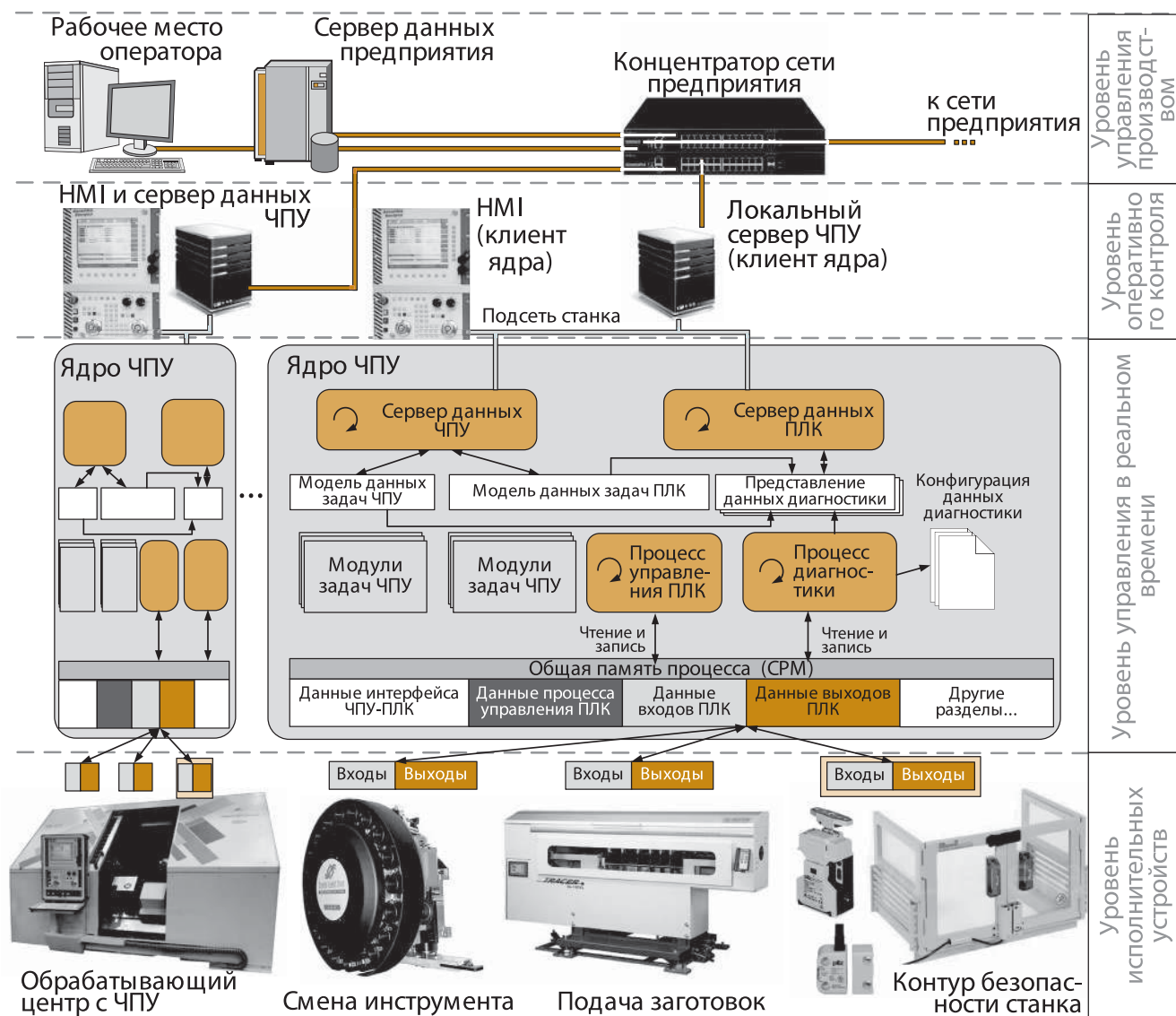


Рис. 1. Структура подсистемы электроавтоматики станка, интегрируемой в машиностроительное производство

и участков; поддерживать работу с большими объемами данных (в том числе посредством облачных технологий), сбор которых осуществляется непосредственно с объектов управления; иметь возможность работы в составе цифрового машиностроительного производства, в том числе в рамках виртуальных производственных корпораций; поддерживать основные промышленные и сетевые протоколы для взаимодействия в рамках сетевого пространства предприятия; иметь выход в Internet с поддержкой передачи команд управления и специфицированной информации о состоянии работы объекта управления. Для реализации этих требований должна быть сформирована соответствующая структура логической задачи в составе системы управления.

#### Структура системы логического управления станком для интеграции в машиностроительное производство

В предложенной структуре системы логического управления (рис. 1) на нижнем уровне управления выделены специализированные модули системы

управления, обеспечивающие сбор и передачу данных. Эти модули реализованы в виде «Локальных серверов данных ЧПУ», которые с одной стороны обеспечивают конфигурирование данных и протокола взаимодействия, с другой, — предоставляют канал обмена с системами управления верхнего уровня.

Терминал системы управления (Human Machine Interface — HMI) и локальный сервер данных ЧПУ являются клиентами ядра ЧПУ в рамках взаимодействия во внутренней подсети станка. В структуре ядра системы ЧПУ выделены:

- «сервер данных ЧПУ», который предоставляет данные, относящиеся к управлению движением: данные о состоянии приводов движения, о состоянии процесса обработки деталей, данные о конфигурации каналов управления и т. п. [7];

- «сервер данных ПЛК», который предоставляет данные о состоянии управления подсистемой электроавтоматики и диагностические данные.

Особенностью представленной структуры ядра системы управления является использование «Об-

*...Чем дальше, тем все легче современная техника превращает вымыслы и домыслы, фантазии и гипотезы - в реальности, вооружающие человека в его борьбе за жизнь.*

Максим Горький

щей памяти процесса», в которой хранятся данные процесса управления движением, процесса управления электроавтоматикой и диагностические данные. Применение общей памяти процесса предоставляет возможность построения подсистемы диагностики с возможностью конфигурирования данных. При настройке системы диагностики под специфику станка и реализуемых на нем технологических операций данные диагностики конфигурируются на основе информации из разделяемой памяти процесса. Например, можно получить сигналы и информацию из раздела «Данные интерфейса ЧПУ-ПЛК» о выполняемой М-команде и ее параметрах. Аналогично из раздела «Данные входов ПЛК» можно получить информацию о температуре, давлении в подсистеме гидравлики станка и даже данные, которые напрямую не используются в алгоритме управления электроавтоматикой, но учитываются при сборе технологической или статистической информации.

Предоставление данных станка для внешних клиентов в сети предприятия реализуется локальным сервером данных ЧПУ по отдельному сетевому Ethernet

интерфейсу. Это позволяет защитить внутреннюю подсеть станка от несанкционированного доступа. Согласно требованиям безопасности, на локальных серверах данных ЧПУ настраиваются брандмауэры с использованием зашифрованной виртуальной частной сети (VPN — Virtual Private Network), для обеспечения защищенного удаленного доступа к станочному оборудованию через общедоступные сети, например Internet.

Набор технологических данных для одного и того же станка меняется в зависимости от производственного процесса [8, 9]. Например, при производстве большой партии простых деталей на токарно-фрезерном станке, необходимо контролировать подачу прутка, остаточный ресурс инструмента, возможные аварийные ситуации при автоматическом снятии со станка обработанной детали. А при обработке на этом же станке сложных деталей набор контролируемых параметров расширяется информацией о температуре узлов станка, температуре СОЖ, а также и информационными сообщениями о состоянии процесса обработки. Таким образом, для каждого случая использования станка сопоставляется соответствующее представление данных диагностики (рис. 1 блок — «Представление данных диагностики»), которое будет включать необходимый на текущий момент набор системных переменных, значений ячеек памяти, информационных сообщений и т. п.

#### Практические аспекты реализации системы логического управления (на примере станка наклонной компоновки)

Ведущие мировые станкостроительные компании активно продвигают на рынок станков-комбайнов, к которым относятся и токарно-фрезерные, обрабатывающие центры для обработки сложных деталей, позволяющие выполнять на одном оборудовании за один установ комплексные технологические операции с множеством технологических переходов, обеспечивающие высокую точность деталей и сокращение времени выпуска изделий. В качестве примера решения логической задачи численного программного управления рассмотрим управление электроавтоматикой обрабатывающего центра наклонной компоновки CA535 (совместная разработка ОАО «САСТА», МГТУ «СТАНКИН», рис. 2).

Сбор и обмен данными в сети между исполнитель-

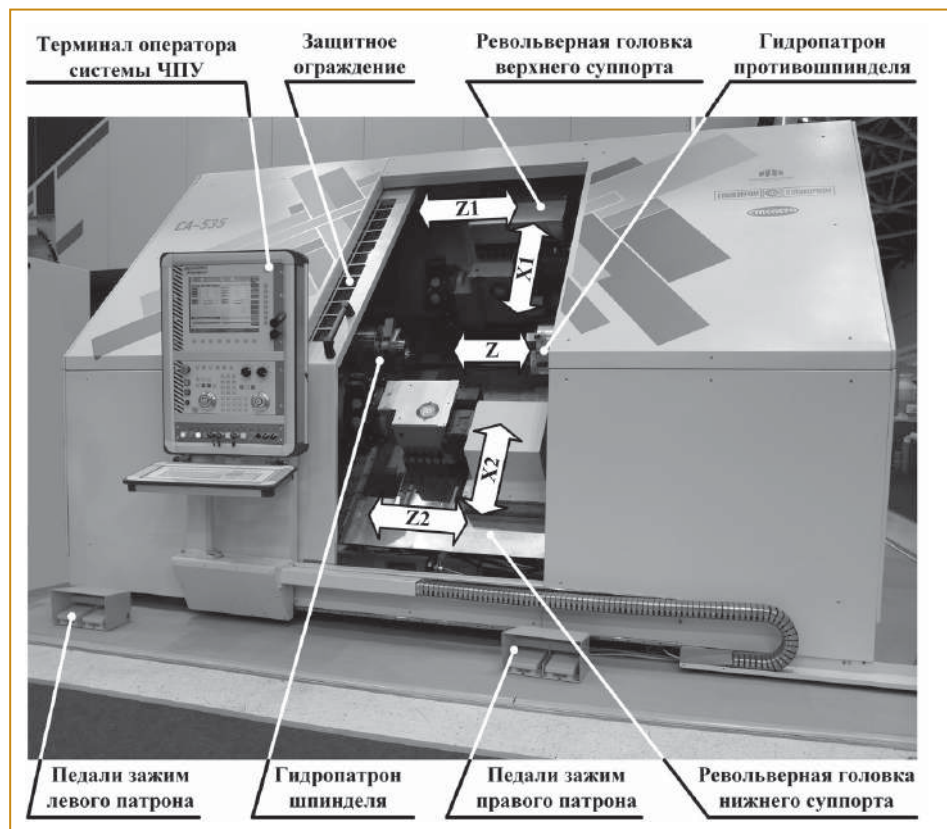


Рис. 2. Обрабатывающий центр наклонной компоновки «CA 535»





Рис. 3. Структура разделяемой памяти процесса системы управления обрабатывающим центром наклонной компоновки

ными устройствами осуществляется на базе открытого высокоскоростного протокола EtherCAT.

Обрабатывающие центры содержат следующие средства технологического оснащения: револьверные головки верхнего и нижнего суппортов, зажимные патроны, систему охлаждения инструмента и станка,

станции охлаждения и гидростанция, транспортер стружки, защитное ограждение, систему подачи воздуха, инструментальный магазин и систему автоматической смены инструмента и др. Управление перечисленным набором средств технологического оснащения осуществляется в рамках логической задачи ЧПУ и требует реализации ряда вспомогательных М-функций, в частности, для: включения/выключения транспортера стружки (M50, M51), зажима/разжима патрона (M21, M22), открытия/закрытия защитного ограждения (M54, M55), управления перехватом детали противощпинделем (M75) и др.

Обмен данными между программными модулями системы управления и аппаратными входами/выходами реализован на основе разделяемой (или общей) памяти процесса (рис. 3). Структура разделяемой памяти содержит следующие разделы: 1 — область реализации интерфейса NC-PLC, 2 — внутренняя память программно-реализованного контроллера, 3 — область отображения аппаратных входов/выходов, 4 — область системной информации, 5 — область управления двигателями, 6 — область прямого доступа к «баскапперам», 6 — резервная область.

Для обмена данными с аппаратными устройствами ввода/вывода используется пространство памяти со следующей адресацией: для входов — с 204800 байта до 255999, для выходов — с 256000 байта до 307199 байта. Каждый из этих участков дополнительно разделен на участки, которые содержат данные от различных типов модулей ввода/вывода, таких как дискретные и аналоговые входы/выходы, входы инкрементального энкодера.

Один раз в такт работы цикла логического управления производится чтение входов, выполнение алгоритма управления и запись выходов из разделяемой памяти на аппаратные устройства. При этом программа логического управления может обращаться только к разделяемой памяти и не имеет прямого доступа к модулям ввода/вывода.

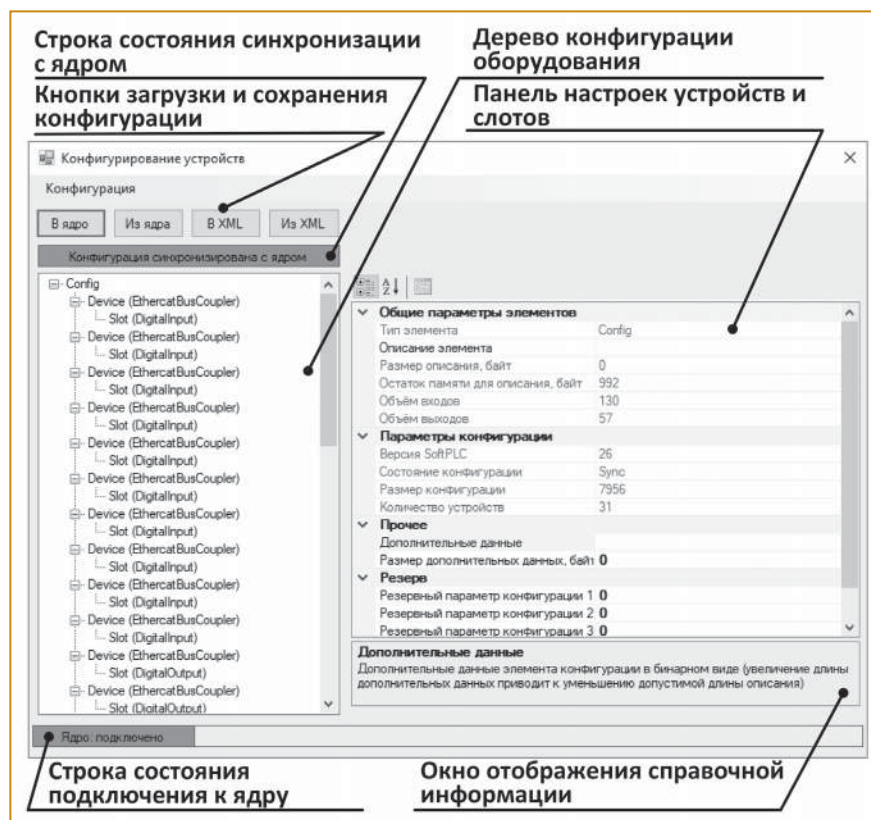


Рис. 4. Конфигурирование устройств электроавтоматики

В ходе выполнения работ была сформирована таблица описания сигналов электроавтоматики

и их адресации в разделяемой памяти, которая использовалась для конфигурирования аппаратных устройств ввода/вывода в редакторе программ логического управления (рис. 4). Конфигурация состоит из устройств и слотов, каждый слот соответствует одному сигналу из таблицы описания сигналов. При конфигурировании слотов указывается их адрес и число бит, занимаемых в разделяемой памяти.

#### Заключение

Анализ систем логического управления показал, что типовые функции ПЛК, Soft-PLC и PAC в полной мере не соответствует всем аспектам концепции Industry 4.0. Для расширения функций логической задачи систем ЧПУ предложено применение модулей локальных серверов данных ЧПУ, которые обеспечивают взаимодействие с ядром системы и предоставляют данные для клиентов уровня управления производством. Особенностью представленной структуры ядра системы ЧПУ является использование разделяемой памяти процесса, в которой хранятся данные процесса управления движением, данные процесса управления электроавтоматикой, диагностические данные системы и др.

Практические аспекты использования общей памяти процесса в ядре системы управления описаны на примере системы управления обрабатывающим центром наклонной компоновки. Наличие общедоступной структурированной области памяти внутри процесса ЧПУ и специализированного процесса диагностики позволяет эффективно решать задачу предоставления данных с нижних уровней управления, работающих в режиме реального времени, для уровней управления производством, что является выполнением ряда существенных требований в рамках концепции Industry 4.0.

#### Список литературы

1. *Martinova L.I., Sokolov S.S., Nikishechkin P.A.* Tools for Monitoring and Parameter Visualization in Computer

Control Systems of Industrial Robots // Advances in Swarm and Computational Intelligence. 6th International Conference, ICSI 2015 held in conjunction with the Second BRICS Congress, CCI 2015, Beijing, 2015. Proceedings, Part II, p.200-207.

2. *Нежметдинов Р.А., Никишечкин П.А., Ковалев И.А., Червоннова Н.Ю.* Подход к построению систем логического управления технологическим оборудованием для реализации концепции Industry 4.0 // Автоматизация в промышленности. 2017. №5. с.5-9.
3. *Martinov G.M., Grigoryev A.S. and Nikishechkin P.A.* Real-Time Diagnosis and Forecasting Algorithms of the Tool Wear in the CNC Systems // Advances in Swarm and Computational Intelligence. Vol. 9142, 2015, pp 115-126.
4. *Козак Н.В., Абдуллаев Р.А., Ковалёв И.А., Червоннова Н.Ю.* Реализация логической задачи ЧПУ и задачи производственной безопасности на основе внешних вычислительных модулей Soft PLC // Автоматизация в промышленности, №5. 2016. с.28-30.
5. *Козак Н.В., Пушков Р.Л., Евстафиева С.В.* Реализация задач управления электроавтоматикой на основе внешних вычислительных модулей Soft PLC в системе ЧПУ "АксиОМА Контроль" // Промышленные АСУ и контроллеры. 2016. №7. с. 3-9.
6. *Martinov G. M., Kozak N. V., Nezhmetdinov R. A.* Implementation of Control for Peripheral Machine Equipment Based on the External Soft PLC Integrated with CNC//2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). 2017. p.1-4.
7. *Martinov G.M., Sokolov S.V., Martinova L.I., Grigoryev A.S., Nikishechkin P.A.* Approach to the Diagnosis and Configuration of Servo Drives in Heterogeneous Machine Control Systems // 8th International Conference, ICSI 2017 Fukuoka. Japan. 2017 Proceedings. Part II. pp.586-594.
8. *Мартинов Г.М., Нежметдинов Р.А., Кулиев А.У.* Подход к реализации аппаратно-независимого управления электроавтоматикой токарных и токарно-фрезерных станков с ЧПУ // Авиационная техника. 2016. №2. с.128-131.
9. *Martinov G.M., Nezhmetdinov R.A.* Modular design of specialized numerical control systems for inclined machining centers // Russian Engineering Research. 2015. Vol. 35. Issue 5. pp 389-393.

*Козак Николай Владимирович* – канд. техн. наук, доцент,

*Нежметдинов Рамиль Амирович* – канд. техн. наук, доцент,

*Мартинова Лилия Ивановна* – канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН».

Контактный телефон (499) 972-94-40.

E-mail: kozak@ncsystems.ru

#### НОВЫЕ КНИГИ

Скляр В.В. Обеспечение безопасности АСУТП в соответствии с современными стандартами  
Издательство "Инфра-Инженерия". Объем 380 стр., переплет: твердый.

Подробно рассмотрены требования к безопасности АСУТП международного стандарта МЭК 61508 «Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью», дана их интерпретация для практического воплощения. Последовательно раскрыты конкретные шаги, необходимые для получения сертификата соответствия МЭК 61508. Особое внимание уделено подготовке к сертификации, в том числе определению объекта сертификации, проектной инфраструктуры, плана и сметы затрат на выполнение работ. Рассмотрены требования стандарта, относящиеся к управлению безопасностью, предложены методы ее количественного оценивания и меры по ее обеспечению.

[Http://www.infra-e.ru](http://www.infra-e.ru)