

ВВЕДЕНИЕ

Периодические или рецептурные производственные процессы характерны для фармацевтической, пищевой, химической, металлургической промышленности, а также для производства отдельных строительных материалов и т.д. Для эффективного управления сложными рецептурными производствами разработан международный стандарт ANSI/ISA-88. Структура стандарта ISA-88, его основные понятия и особенности применения в промышленности рассмотрены в статье авт. *И.С. Решетникова, А.П. Козлецова, Д.Е. Анисимова*, являющихся членами российской рабочей группы MESA International.

Для автоматизации рецептурных производств компании — ведущие игроки рынка промышленной автоматизации разрабатывают специализированные программные решения, удовлетворяющие рекомендациям стандарта ISA-88. Внедрение в эксплуатацию этих решений делают производственный процесс более гибким при необходимости внесения изменений, повышают эффективность использования оборудования, рабочей силы и сырья и т.д. В журнале представлены рецептурные решения уровня MES от компаний Siemens (авт. *А.С. Космин*), GE, Rockwell Automation (авт. *И.Е. Зыков и М.Е. Зыков*), Honeywell (авт. *А.А. Аносов, Г.Л. Ефитов, Д.Г. Пузин*).

В статье авт. *А.А. Аносова, Г.Л. Ефитова и Д.Г. Пузина* помимо подхода к оптимальному управлению станцией смешения описано внедрение соответствующего решения на Волгоградском НПЗ. В статье авт. *А.А. Рогачева* приведен пример проекта по автоматизации линии для производства сухих смесей на основе стандарта ISA-88.

Отдельно отметим статью, описывающую АСУ пневмопочтой цементного завода авт. *В.А. Пустовита, В.В. Затояна, О.В. Галкиной*. В этом проекте не используется специализированное Bath-решение. Производственный участок, обеспечивающий отбор, загрузку в контейнер и отправку проб на анализ в цеховую лабораторию, автоматизирован при помощи универсального SCADA-пакета TRACE MODE 6.

Рецептурное производство — сложный многоуровневый процесс, отличающийся от производственных процессов других предприятий рядом особенностей. Эти особенности проявляются не только на уровне систем класса MES, но и на уровне ERP-решений. В статье от компании Digital Design представлено ERP-решение, предназначенное для рецептурных предприятий, на базе Microsoft Dynamics AX. Первое внедрение решения реализовано в компании Faberlic.

ISA-88 – СТАНДАРТ УПРАВЛЕНИЯ РЕЦЕПТУРНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

**И.С. Решетников (ООО "Газпром центрремонт"), А.П. Козлецов (ООО "АМастер"),
Д.Е. Анисимов (ООО "Компания "ТЕРСИС")**

Представлена структура стандарта ISA-88 и его основные понятия. Рассмотрены вопросы совместного использования стандартов ISA-88 и ISA-95 в рамках одного предприятия. Прокомментированы особенности применения ISA-88 для производственных процессов рецептурного, а также нерепечтурного типов.

Ключевые слова: стандарты ISA-88 и ISA-95, рецептура, партия, физическая и рецептурная модели производства, непрерывные производственные процессы, производство периодического типа.

Введение

Периодические (рецептурные) производственные процессы широко распространены в самых разных отраслях промышленности — фармацевтической, пищевой, производстве строительных материалов и т.д. Использование в данном контексте термина "рецептура" как последовательности выполнения определенных действий для изготовления конечного продукта, возможно, и не очень удачно, но стало на сегодняшний день стандартом де-факто. Иногда такой тип производств называют процессным. Понятно, что на предприятиях используется самое разнообразное оборудование, системы управления строятся на основе различных вычислительных средств. Для обеспечения их совместного функционирования не-

обходимо, чтобы все эти системы соответствовали единым стандартам, использовали унифицированный способ записи рецептов, отображения текущего состояния оборудования и т.д.

Тенденция развития корпоративных систем [1] привела к пониманию, что для эффективного управления такими сложными производствами нужен единый стандарт и в конце 80-х гг. XX века была начата работа по созданию стандарта ANSI/ISA-88 (часто также используется сокращение S88). Разработчик стандарта — комитет SP88 международной организации ISA, объединившей конечных пользователей и поставщиков оборудования и решений для периодического производства. В 1995 г. стандарт был одобрен сообществом ISA и получил официальный статус. За прошедшие го-

ды ISA-88 получил широкое распространение и стал признанным стандартом реализации систем управления периодическим производством.

Несмотря на кажущуюся очевидность востребованности, для признания стандарта S88 потребовались годы. Но в результате стандарт стал широко применяться на практике и получил дальнейшее развитие в виде стандарта ISA-95 [2]. В настоящее время стандарт развивается и совершенствуется, большой объем информационных материалов можно найти на официальном сайте организации www.isa.org.

В статье сделана попытка проанализировать имеющиеся материалы по практическому использованию стандарта S88 при решении различного рода задач как самостоятельно, так и в связке с другими нормативными документами. При подготовке статьи использовались материалы ассоциации ISA, World Batch Forum [3], ассоциации MESA International, а также материалы специализированных Internet-сайтов. К сожалению, в России ISA-88 пока недостаточно популярен, русскоязычных материалов по применению стандарта практически нет, статьи в специализированных изданиях носят единичный характер [4].

Настоящая статья ставит своей целью не предоставить детальное описание стандарта, а осветить основные подходы, заложенные в нем, и зародить интерес к более подробному изучению сути вопроса [5, 6]. За рамками статьи сознательно оставлены вопросы программной реализации, а также сравнение существующих систем управления периодическим производством. Предпочтение отдано более "концептуальным" темам, ориентируясь в которых, заинтересованный специалист без труда выберет средство реализации.

Структура стандарта ISA-88

Стандарт ISA-88 разрабатывался на базе существовавшего на тот момент стандарта NAMUR N33 и был призван помочь в решении нескольких фундаментальных проблем, таких как отсутствие единой модели рецептурного производства, сложность согласования требований, трудности интеграции решений различных поставщиков, сложное управление рецептурным производством. Для решения этих проблем необходимо было определить единые модели, терминологию, структуру данных и язык описания процесса. Структура стандарта соответствует поставленным задачам и включает четыре части [7]:

- ISA88.01-1995, Batch Control Part 1: Models and Terminology — определяет стандартные модели и терминологию для формализации требований к системам управления периодическим производством, его эквивалент — IEC 61512-1;

- ANSI/ISA-88.00.02-2001, Batch Control Part 2: Data Structures and Guidelines for Languages — определяет модели данных для управления производством, структуры данных для обмена информацией, а также форму записи рецептуры;

*Четкое следование рецепту -
это вопрос времени.
В общем и целом, чем больше времени,
тем лучше результат...*
Журнал "Автоматизация в промышленности"

- ANSI/ISA-88.00.03-2003, Batch Control Part 3: General and Site Recipe Models and Representation — определяет модели для представления обобщенных рецептов и обмена такими рецептурами между подразделениями предприятия, а также между предприятием и его партнерами;

- ANSI/ISA-88.00.04-2006, Batch Control Part 4: Batch Production Records — определяет модели данных и ориентировочную модель системы для записи, хранения, извлечения и анализа данных о ходе периодического производства.

Кроме того, готовится к выходу пятая часть стандарта Implementation Models & Terminology for Modular Equipment Control, цель которой состоит в определении методов формализации интеграции производственного и упаковочного оборудования, а также корпоративных информационных систем. Также на основе концепций стандарта ISA-88 разработаны конструкции XML для обмена данными в системах управления периодическим производством — BatchML.

Основные понятия и модели ISA-88

Прежде всего, стандарт ISA-88 определяет понятие периодического процесса (batch process) — это процесс, результатом которого является производство конечного количества продукта путем выполнения над некоторым количеством исходных материалов (сырья) упорядоченной последовательности воздействий за ограниченный период времени с использованием одной или более единиц оборудования. Это определение однозначно указывает на наличие ограниченного интервала времени (периода) изготовления конечного количества продукта (то есть партии) и тем самым отделяет периодический производственный процесс от непрерывного или дискретного процесса.

Термин "партия" ("batch") имеет значения: во-первых, "материал, который производится в результате одной стадии batch process", а во-вторых — некая сущность, определяющая производство материала на любой стадии процесса. Под термином "рецептура" ("recipe") определяется минимально необходимый набор информации, которая уникальным образом определяет требования к производству конкретного продукта.

Для управления периодическим производством необходимы три сущности (и именно их охватывает стандарт):

- формальное определение процесса изготовления партии продукта — рецептуры (recipe);
- информация об оборудовании, которым нужно управлять (модель оборудования);

- формальное определение управляющих воздействий.

Чуть более подробно остановимся на модельных представлениях, описанных в стандарте.

Стандарт ISA-88.01 определяет физическую и процедурную модели производства. Физическая модель в целом определяет производственную ячейку оборудования, необходимого для производства партии продукции. Основным понятием здесь является модуль – основная единица оборудования, выполняющего главный шаг процесса. Физическая модель (модель оборудования) в общем случае включает семь уровней: блок управления (Control Module); агрегат (Equipment Module); установка (Unit); ячейка процесса (Process Cell); производственный участок (Area); производство (Site); предприятие (Enterprise).

Ячейка процесса (Process cell) – единственный обязательный уровень модели. Она включает все установки, агрегаты и блоки управления, требуемые для производства одной или нескольких партий. Ячейка процесса может включать линии (train), состоящие из оборудования, необходимого для изготовления определенной партии. При изготовлении партии обязательно используется все оборудование, входящее в линию, в то же время одна линия может быть задействована одновременно в изготовлении нескольких партий и/или продуктов. Ячейка процесса может включать более одной линии, при этом линия не может включать оборудования, не входящего в ячейку процесса. Ячейки процесса служат основой для планирования и управления производством продукции.

Процедурная модель (модель ТП) в общем случае включает четыре уровня: фаза (Phase); производственная операция (Operation); процесс (Unit Procedure); технология (Procedure). Технология (Procedure) на стратегическом уровне определяет последовательность мероприятий, которые необходимо выполнить для производства партии. Она состоит из требуемого числа процессов (Unit Procedure). А процесс, в свою очередь, состоит из связанной последовательности производственных операций, выполняемых на одной установке, и моделирует один из основных шагов (стадий) создания партии. Предполагается, что в каждый момент времени на установке выполняется только одна операция, при этом каждая операция полностью завершается в пределах установки. Тем не менее множество процессов одной технологии может выполняться на нескольких установках одновременно, а каждый процесс на своей установке.

Применимость моделей стандарта ISA-88 как к крупным производствам со сложными ТП и структурой оборудования, так и к простым по структуре предприятиям [8] неоднократно проверена на практике. Определяемые стандартом модели позволяют встраивать простые процессы в процессы более высокого уровня, наличие которых не предполагалось изначально. Данный факт дает возможность небольшим предприятиям благодаря применению стандарта ISA-88

получить больше возможностей в части кооперации с крупными предприятиями – заказчиками их продукции. Подходы, аналогичные модели оборудования стандарта ISA-88, и ее развитие в стандарте ISA-95 могут использоваться и при описании не только производственных технологических объектов и структур [9].

При практической реализации иерархия моделей стандарта используется как этапность для внедрения системы управления. Внедрение происходит снизу вверх: сначала блоки управления, затем модели оборудования, затем фазы оборудования и далее до моделей процедур. Этот процесс внедрения может быть прерван на любой стадии, как только будут выполнены требования к системе управления. При этом на каждой из стадий внедрения (на каждом из уровней модели) достигаются вполне определенные результаты [8], что дает возможность оценить экономическую эффективность каждого из этапов внедрения в отдельности.

Совместное использование ISA-88 и ISA-95

На современном производственном предприятии АСУТП должны взаимодействовать не только с аналогичными системами, но и с системами управления верхнего уровня, в том числе MES и ERP. Если обмен данными с MES еще может быть описан в рамках ISA-88, то передача данных от MES к ERP требует уже других стандартов. Один из наиболее известных стандартов обмена информацией между MES и корпоративными информационными системами – стандарт ISA-95. На первый взгляд, ISA-95 и ISA-88 прекрасно дополняют друг друга, так что складывается впечатление, что вместе они охватывают все производственные системы – от MES до локальных систем управления. Но в то же время между двумя стандартами существуют серьезные различия, касающиеся моделей оборудования, функциональных и информационных моделей [10, 11]. Без учета таких различий трудно рассчитывать на положительный результат при совместном использовании стандартов.

Рассмотрим сначала, чем отличаются модели оборудования в ISA-95 и ISA-88. В основе иерархической модели оборудования ISA-95 лежат физическая модель ISA-88 и модель производственного предприятия университета Пердью PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture). От первой взята общая структура модели, а от второй – деление модели на уровни управления. Кроме того, в модель ISA-95 добавлены элементы для производств дискретного и непрерывного цикла, а также для складского хранения. В модели же ISA-88 учитывалось только периодическое производство, хотя имеется достаточно много примеров ее использования на производствах другого типа. Так как стандарт ISA-95 ориентирован в первую очередь на организацию обмена информацией между корпоративными и производственными системами, в модель оборудования ISA-95 не входят модули оборудования и управления.

Теми же обстоятельствами обусловлены различия в функциональных моделях стандартов. Цель создания

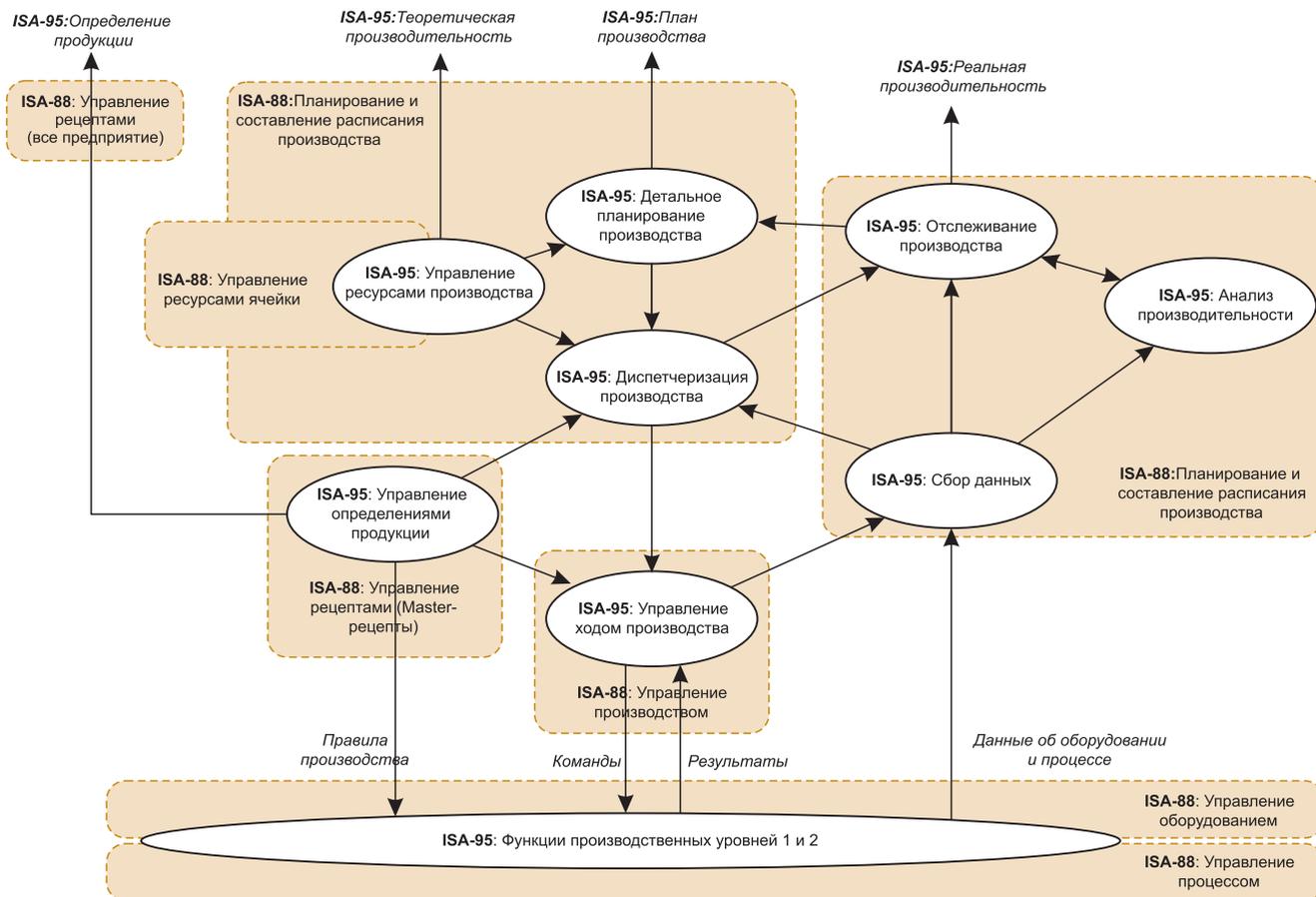


Рис. 1. Взаимное наложение охвата функций ISA-88 и ISA-95

функциональной модели ISA-88 – описать ход производственного процесса, в то время как в ISA-95 отдельные функции рассматриваются, прежде всего, как источники информации, передаваемой между MES и системами верхнего уровня. Большинство функций ISA-88 и ISA-95 можно сопоставить друг другу (рис. 1), правда, при этом нужно учитывать, что функции ISA-95 более "общие" [11]. Причина этого все та же – приоритет batch-процессов в ISA-88. Например, один из элементов модели ISA-88 – управление рецептурными данными (Recipe Management). Но на производствах другого типа для описания последовательности этапов производственного процесса могут использоваться стандартные процедуры (Standard Operation Procedure, SOP) или сборочные инструкции. Поэтому вместо управления рецептурными данными в ISA-95 говорится об управлении определениями продукции (Production Definition Management). Рецептурные же данные рассматриваются как частный случай определения. С другой стороны, в ISA-88 значительно больше внимания уделяется функциям, работающим на уровнях 0 (уровень физических процессов), 1 (уровень средств измерения и исполнительных механизмов) и 2 (уровень мониторинга, автоматизированного и диспетчерского управления процессами производства), таким как "Управление оборудованием" (Unit Supervision) и "Управление процессом" (Process Control). ISA-95, напротив, лишь вскользь упоминает подобные функции.

Основное внимание в ISA-95 уделено взаимодействию систем управления и корпоративных информационных систем, поэтому передаются только данные, нужные системам верхнего уровня для планирования и контроля производственного процесса. ISA-88 описывает данные, необходимые для совместной работы систем управления, а также для детального планирования работы. Например, при описании потенциальной производительности (Production Capability Information) в ISA-95 используется информация об оборудовании, материалах и персонале. Из трех понятий только одно – оборудование – применяется в ISA-88. Но в системе, реализованной в соответствии с ISA-88, оборудование может быть описано гораздо более подробно, с делением на отдельные модули. Для каждого модуля, в свою очередь, можно хранить информацию о возможной производительности и использовать ее при выборе маршрута материала в реальном времени. Но системам верхнего уровня ничего об этом известно не будет, они будут получать информацию о производительности единицы оборудования в целом.

Из вышесказанного становятся понятны возможности совместного применения ISA-95 и ISA-88. MES, реализованная в соответствии с ISA-95 может "знать", какие данные можно получить от систем управления периодическими процессами, соответствующими ISA-88. С другой стороны, разработ-

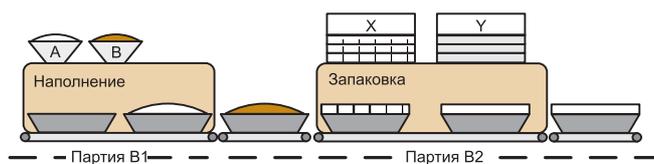


Рис. 2. Пример использования NS88

чики системы управления могут предположить, какие данные потребуется передавать на верхний уровень. Знание стандартов, умение их применять и находить точки соприкосновения необходимо и для постановки задачи на разработку интегрированной системы управления, и для технического проектирования такой системы.

Применение ISA-88 для производственных процессов другого типа

Несмотря на то, что ISA-88 разрабатывался для периодического производства, стандарт довольно успешно применяется и для непрерывного и дискретного производства. Можно назвать довольно много отличий непрерывного производства от периодического, среди которых и более высокий расход ресурсов, и меньшая номенклатура выпускаемой продукции, и большая продуктивность непрерывных производственных процессов. Однако с точки зрения управления непрерывный производственный процесс очень похож на периодический процесс с нулевым временем простоя при смене рецептуры, длительными интервалами между сменой рецептов и отсутствием остановки материальных потоков [11].

С дискретными производственными процессами ситуация сложнее, общих черт с периодическим производством здесь еще меньше. Но и здесь вполне можно определить единицы оборудования, модули оборудования и управления. Вопрос лишь в том, насколько оправданно использование ISA-88 в "неродной" для него области. Производственные процессы, в том числе периодические, зачастую тесно связаны с производственными процессами другого типа. Например, после выпуска партии таблеток (периодический процесс) их необходимо расфасовать по упаковкам (дискретный процесс). В этом случае удобно было бы описать обе производственные линии на одном и том же языке, например, на языке ISA-88. При наличии такого описания гораздо проще обеспечить взаимодействие систем управления производственными линиями. Именно в подобных случаях применение ISA-88 к процессам, отличным от batch, выглядит оправданным.

Особого внимания заслуживает использование ISA-88 для управления безостановочными (non-stop) производственными процессами [12]. Такие процессы могут быть как непрерывными, так и дискретными: их отличительная особенность – недопустимость прерывания производственного процесса, обусловленная физическими особенностями процесса (производство стекла) или требованиями оптимального

использования оборудования (розлив и упаковка). Главное препятствие к применению ISA-88 – правило, согласно которому в одной единице оборудования в каждый момент времени используется только одна рецептура. Очевидно, что в случае безостановочного процесса это правило нереализуемо, иначе при переходе с одного вида продукции на другой неизбежно возникли бы остановки, недопустимые в нашем случае по определению. Поэтому для безостановочных процессов правила ISA-88 были модифицированы следующим образом:

- единица оборудования завершает выполнение главной фазы обработки в тот момент, когда на ее входе появляется последний элемент старой партии;
- старая рецептура используется до тех пор, пока элементы старой партии не выйдут за пределы единицы оборудования;
- перемещение последнего элемента старой партии отслеживается;
- сигнал об окончании партии посылается в тот момент, когда первый элемент новой партии выходит за пределы единицы оборудования.

Пусть имеется участок производственной линии, состоящий из двух аппаратов. Первый аппарат заполняет упаковочную емкость, а второй – закрывает ее крышкой (рис. 2). Рассмотрим, как будет работать линия в ходе смены партии с В1 на В2. При этом выполняются следующие действия:

- первая емкость партии В2 поступает на заполнение;
- аппарату для заполнения назначается рецептура В2, но система управления отслеживает перемещение последней емкости партии В1, поэтому ей становится известно, когда этот элемент покидает аппарат;
- емкости старой партии заполняются продуктом А, а емкости новой партии – продуктом В;
- второй аппарат все еще "не знает" о смене партий.

Следовательно, измененные правила (их еще называют NS88 – non-stop S88) позволяют формализовать непрерывные процессы и тем самым значительно расширяют сферу применения ISA-88.

Заключение

Ключевым аспектом ISA-88 является то, что стандарт поддерживается большинством крупных поставщиков оборудования, поэтому и специалистам производственных предприятий, и системным интеграторам, и разработчикам оборудования необходимо иметь как минимум общее представление о самом стандарте и его применении.

Физическая модель ISA-88 может применяться для иерархического представления технологического оборудования, когда каждая единица оборудования делится на модули, состоящие в свою очередь из более мелких модулей. Такое деление позволяет структурировать описание производства, а также может служить в качестве основы для разработки системы кодирования этапов производства. Наличие иерархической модели позволяет также четко определить мо-

дули ПО системы управления и связи между ними и избежать "спагетти-эффекта".

Модульный подход к построению системы управления имеет множество преимуществ. Например, система управления единицей оборудования может быть заменена или модифицирована без особого влияния на другие модули. Достаточно только потратить некоторое время и средства на создание структурированного описания и разработку модулей. В дальнейшем затраты окупятся за счет возможностей повторного использования и увеличения гибкости систем управления оборудованием.

Список литературы

1. *Малыренко И.* Модели архитектуры ИС предприятия: расцвет многоклеточных // PC Week/RE. 2007. № 10.
2. *Решетников И.С., Тупысев А. М. и др.* Стандарты интеграции многоуровневых информационных систем // Автоматизация в промышленности. 2009. № 9.
3. S88 for Engineers (White Paper). World Batch Forum. 2002. <http://www.isa88.org>
4. *Космин А.С.* Базовые принципы стандарта ISA 88 для автоматизации технологических процессов // Молочная промышленность. № 9. 2008.
5. *Parshall J., Lamb L.*, Applying S88: Batch Control from a User's Perspective. ISA. 2000.
6. *Fleming D.*, S88 Implementation Guide. McGraw Hill. 1998.
7. ISA-88, Batch Control, <http://www.isa88.org>
8. Applying ISA 88.01 to Small, Simple Process. World Batch Forum. November. 2006. <http://www.isa88.org>
9. *Решетников И.С.* Информационная система поддержки принятия решений в многоуровневой структуре на примере организации капитального ремонта нефтегазовой компании // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2007. №3.
10. *Sholten B.* Integrating ISA-88 and ISA-95. Instrumentation, Systems and Automation Society. 2007.
11. ISA-88/95 Technical Report. Using ISA-88 and ISA-95 Together. Draft 17. Instrumentation, Systems and Automation Society. 2007. <http://www.isa88.org>
12. Applying S88 to "non-stop" production. World Batch Forum. 2005. <http://www.isa88.org>

Решетников Игорь Станиславович — канд. техн. наук, заместитель начальника управления автоматизации, информатизации, телекоммуникаций и связи ООО "Газпром центрремонт",

Контактный телефон (916) 671-19-74. E-mail: I.Reshetnikov@gazprom.ru

Козлецов Алексей Павлович — канд. техн. наук, ведущий программист ООО "АМастер",
Контактный телефон (8452)44-70-70. E-mail: a.kozletsov@amaster.su

Анисимов Дмитрий Евгеньевич — директор департамента MES ООО "Компания "ТЕРСИС".
Контактный телефон (495) 980-73-57. E-mail: d_anisimov@tersys.ru

О ПОДХОДАХ К АВТОМАТИЗАЦИИ РЕЦЕПТУРНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

А.С. Космин (ООО "Сименс")

Рассмотрено ПО Simatic Batch, предназначенное для автоматизации рецептурных производств, от компании Siemens. Описаны функции основных модулей, входящих в состав ПО Simatic Batch, прокомментированы особенности их использования на промышленных предприятиях.

Ключевые слова: рецептура, партия, Batch процессы, иерархия, модульность, стандарт ISA-S88.

В переводе с английского языка Batch означает партия, группа или серия (в данном контексте). Партия характеризуется следующими основными признаками:

- наличием четкого начала и конца;
- наличием заданного количества продукции, которое необходимо произвести;
- наличием рецептов;
- разбиением процесса на фазы и операции.

Из этих свойств вытекают важные следствия такие, как присваивание каждой партии определенного номера, запись в БД информации с привязкой к партии, отслеживание партий (Batch tracing) и пр. Для описания Batch процессов в 1995 г. некоммерческой организацией ISA (США) был разработан стандарт ISA-S88, в котором даны основные определения для описания Batch процессов, принципы построения Batch процессов, структуры рецептов, модели, диаграммы состояний процессов и др. Стандарт постоянно развивается и состоит из четырех основных частей, последняя пятая часть "ISA-88 and XML" описывает язык разметки партий BatchML (Batch Markup Language). В рамках данной

статьи не будем углубляться в тонкости данных документов и ограничимся общими понятиями.

Несмотря на то, что с момента выхода стандарта, описывающего Batch процессы, прошло уже 15 лет, далеко не на всех производствах задумываются о соответствии ему систем управления. Рассмотрим основные положения данного стандарта, не углубляясь в детали, и покажем, какие современные решения предлагаются на рынке в настоящий момент.

Отличительной особенностью полноценных Batch решений является их модульность. Даже при наличии на производстве Batch процессов далеко не все участки производства должны быть автоматизированы с применением Batch систем. Но в то же время очень удобно, когда на производстве все АСУТП от одного производителя. При отсутствии возможности подобной интеграции на заводах часто можно увидеть тяжелые суррогаты из Batch систем, на которых строятся как Batch, так и не Batch процессы, либо универсальные решения на SCADA-системах, требующие значительных трудозатрат для выполнения автоматизации, согласно стандарту ISA-S88.