

Автоматизация в мелкосерийном и единичном производстве

Любомир Димитров, Вадим Жмудь
Технический университет Софии (София, Болгария), НГТУ (Новосибирск, Россия)

Аннотация: Одним из основных требований современного рынка является индивидуализация товаров и услуг (*mass customization*). По мере того как производственный процесс обусловлен требованиями рынка он должен выполнить эти требования, изменив принцип «чем больше, тем лучше» на новый принцип «чем больше разнообразия, тем лучше». Это соответствует повышению гибкости для модификаций, лучшему соответствию требованиям заказчика, более быстрой доставке, лучшему качеству и относительно низкой стоимости, такой, которая сближается со стоимостью при массовом производстве. Это может быть сделано путем использования специальных подходов и методов, таких как «Групповая технология», LEAN подход, компьютерное интегрированное производство (СІМ), гибкие производственные системы (ГПС), систем управления жизненным циклом изделия (PLM), системы планирования ресурсов предприятия (ERP) и некоторые другие. В данной работе представлен опыт одного завода в Болгарии, который производить единичное и мелкосерийное производство. Завод является предприятием среднего размера и производит гидравлические цилиндры, гидравлические насосы, гидравлические двигатели и другие гидравлические элементы. Главной особенностью этого производства является небольшое число элементов в серии, и тогда производство может быть определено как единичное и мелкосерийное. Сто процентов производства основывается на принципе «Сделать на заказ» (*Pull production*). Эти особенности и требования к гибкости, низкой себестоимости и быстрой реализации требуют высокого качества инновационных технологий в области дизайна, производства, сборки и тестирования товаров, производимых заводом.

Ключевые слова: автоматизация, мелкосерийное производство, классификации, групповые технологии

1. ВВЕДЕНИЕ

Слово «производство» широко используется в нашей практике и имеет несколько значений, но обычно его понимают как процесс превращения сырья или компонентов в готовую продукцию, которая удовлетворяет ожидания клиентов. Когда выпускается продукт, ему соответствует конкретная цена и качество. Современное общество имеет совершенно новые требования к нынешнему рынку и отсюда следует, что современное производство должно иметь новые

особенности, отвечающие требованиям рынка. Основной характеристикой современного производства является его конкурентность. Это означает, что существует слишком много производителей на рынке, поэтому не только цена и соответствующее качество являются доминирующими факторами. Клиенты требуют многообразия товаров, быстрой доставки, гибкости производства, хорошей цены, и наличия сопутствующего обслуживания.

В то же время современное производство все больше адаптируется к потребителю (персонализируется). Количество продуктов по заказу поставщиков небольшими сериями или даже отдельных продуктов все увеличивается. Массовая персонализация (*mass customization*) является новейшим направлением в конкурентной борьбе на рынке производства и услуг [1–3].

В ходе опроса 1200 глобальных компаний [3], отмечается, что 67 % их клиентов считают, что «Персонализация помогает компаниям дифференцировать свои продукты от своих конкурентов в то время, когда Интернет стремительно создает прозрачность на цену и помогает клиентам легко сравнить продукты с их аналогами».

В течение последнего десятилетия, промышленные машины были изменены таким образом, чтобы они могли производить различные товары только с небольшой корректировкой [1]. Это вполне соответствует желанию людей быть уникальными, отличными друг от друга. В конце концов, этот процесс привел к современному промышленному производству, которое характеризуется следующими особенностями:

- Персонализация, то есть уменьшение количества продуктов в серии. В результате, большая часть современного производства можно охарактеризовать как единичное и мелкосерийное производство;
- Сокращение времени, необходимого для товарного производства, что является результатом жесткой конкуренции на рынке и необходимости очень быстрого внедрения новых продуктов;
- Высокое качество продукции, что повышает требования к разработке продукции и производственного оборудования;
- Снижение стоимости продуктов. Важно снизить стоимость таким образом, чтобы мелкие продуктовые серии смогли конкурировать с массовым производством. В то же время, более

низкая стоимость продукта должна соответствовать высокому качеству.

2. АВТОМАТИЗАЦИЯ В ЕДИНИЧНОМ И МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Характеристики современного производства, упомянутые выше, могут быть достигнуты за счет использования специальных подходов и методов, таких как *LEAN* подход, Компьютерно-интегрированное производство (*Computer Integrated Manufacturing, CIM*), подхода «Групповых технологий», использования Гибких Производственных Систем (ГПС), систем управления жизненным циклом изделия (*PLM*) и системы планирования ресурсов предприятий (*ERP*).

2.1. LEAN подход

Философия *LEAN* производства была разработана Тайити Оно и Эйдзи Тойода в период с 1948 по 1975 год и известна как «*Toyota Production System*» [4]. *LEAN* подход в производстве основан на утверждении, что все затраты, кроме производственных затрат (т.е. тех, которые увеличивают стоимость продукта или услуги для конечного потребителя) расточительны. *LEAN* дает ответы на многие вопросы, анализируя факторы, которые увеличивают стоимость конечного продукта и в то же время призывает к устранению непроизводительных затрат (*waste*). Кроме того, *LEAN* призывает к постоянному совершенствованию производственных процессов. Конечная цель состоит в том, чтобы обеспечить идеальную цену для клиента благодаря отличной стоимости производственного процесса, который характеризуется почти нулевыми непроизводительными затратами [5].

Для успешной реализации *LEAN* производства, следует придерживаться следующих четырех принципов [6]:

Принцип 1: Pull production – производить на заказ. Вместо того чтобы следовать принципу «производят столько товаров или услуг, как это возможно», философия *LEAN* основана на потребности клиента в товарах или услугах и только после заказа следует их производство. Это сводит к минимуму перепроизводство, запас инвентаря и расходы оборотного капитала.

Принцип 2: Flow production - поточность производства. Этот принцип сосредоточен на производстве одного продукта, в одно время. Он сводит к минимуму эксплуатационные потери и время ожидания и с другой стороны повышает качество и гибкость.

Принцип 3: Tact production – ритмичность производства. Определение ритма (такта) производства позволяет сбалансировать производство для устойчивого производственного потока и для гибкого реагирования на изменения рынка.

Принцип 4: Minimum losses (minimum waste) - минимальные потери (минимальные отходы и непроизводительные затраты). Идея совершенства путем непрерывного последовательного удаления различных видов (слоев) непроизводительных затрат и отходов. Ошибки случаются, но компании должны бороться за их раннее выявление, сокращение и ликвидацию. Ошибки должны быть удалены до их влияния на последующие операции.

На основе этих принципов определяется пятиступенчатый процесс внедрения подхода *LEAN* [7]:

Шаг 1: Укажите ценность (стоимость) требуемого семейства продуктов с точки зрения клиента.

Шаг 2: Определите все шаги в потоке создания ценности для каждого семейства продуктов, устраняя по возможности те шаги, которые не создают ценности.

Шаг 3: Убедитесь, что шаги по созданию стоимости происходят в жесткой последовательности, так что продукт плавно перетекает к клиенту.

Шаг 4: После того, как производство уже организовано, разрешите клиенту увеличивать стоимость продукта от последующих действий с ним.

Шаг 5: Когда стоимость уже определена, производство уже организовано и все действия, которые не добавляют стоимость удалены, то следует начать процесс снова и продолжать его до состояния совершенства, в котором идеальное значение стоимости создается без потерь.

2.2. Гибкие производственные системы

Под термином «Гибкие производственные системы» понимают высокопроизводительное, реконфигурируемое оборудование с соответствующим программным обеспечением. Гибкость здесь означает способность справляться с разными типами продуктов (отличающимися слегка или сильно), позволять также изменение последовательности процесса, изменение в объеме производства и изменение в дизайне определенного производимого продукта. Как правило, гибкие производственные системы состоят из трех основных систем:

- станки с ЧПУ;
- автоматизированная система нагрузки и разгрузки;
- информационная система, которая контролирует проектирование, производство и снабжение.

2.3. Групповые технологии

Подход «Групповых технологий» является основой автоматизации и повышения эффективности в малых сериях серийного производства [8–10, 22]. Идея этого подхода состоит в том, чтобы сгруппировать элементы, части элементов, изделий или машин, которые

имеют сходство в функциях, геометрии, производственного процесса или в других отношениях. Общий принцип заключается в том, что многие проблемы схожи и на основе группировки подобных задач может быть найдено единое решение к набору задач, что экономит время и усилия. Таким образом, ядром групповой технологии является идентификация, классификация и типизация элементов, продуктов или технологий.

Идентификация объекта или процесса требует оригинального названия (или номера) и спецификации (определения) параметров

следующим образом: определить параметр, ограничить отклонения параметров и дать для параметра текущее значение.

Классификация представляет собой процесс расположения объектов (или процессов) в группы в соответствии с их атрибутами. Результатом этого является «классификационная структура». Она, как правило, имеет иерархический тип - атрибуты наследуют характеристики вышеуказанного уровня. На *Рис.1* показана структура классификации гидроцилиндров в исследуемом заводе.



Рис. 1. Иерархическая структура гидравлических цилиндров, производимых на заводе [21] (на рисунке язык текста – болгарский)

Типизация представляет собой процесс определения репрезентативного объекта (или процесса) в группе. Это заключительный этап любой классификации. А «типовой объект» является последним блоком в классификации. Какой объект может быть типовым, зависит от цели классификации и это может быть наиболее распространенный объект в группе или наиболее

сложный объект в группе.

2.4. Компьютерно-интегрированное производство

Термин «компьютерно-интегрированное производство», или *СІМ*, был введен доктором Джозефом Харрингтона в 1979 году в книге с тем же названием [11]. До 1970-х годов, наиболее

успешной автоматизация была в производственных операциях [8, 9, 11, 12]. Тогда, для изготовления деталей использовали высокомеханизированные машины, которые управлялись с помощью кулачков и сложных устройств, таких как автоматические винтовые машины и тому подобные приспособления. Производители процесса использовали эти кулачковые механизмы и концевые выключатели для таких операций, как термообработка, заполнение и консервирование, розлив, и некоторые другие. Исторический подход к автоматизации позднее был сосредоточен на отдельных видах деятельности, которые приводили к включению большого количества компьютеризованных операций [13]. В 1980-е годы, информационные технологии стали важным фактором в производстве. В последнее время, из-за вклада многих разработок исследователей и практиков из университетов и промышленных кругов, *CIM* стала очень сложной и важной областью развития автоматизации. Разные специалисты в разных областях предложили свое понимание *CIM*. Они использовали свои знания для решения различных проблем в науке и практике и внесли свой вклад в разработку методологий и теорий *CIM*. И, наконец, в настоящее время никто не может себе представить промышленность и производство без информационных и коммуникационных технологий. Можно утверждать, что *Computer Integrated Manufacturing* вкладывает информационные технологии в реальную практику с целью интеграции производственных и бизнес целей. При правильном применении, *CIM* может обеспечить повышенную производительность, эффективность затрат и оперативное реагирование на всем предприятии.

Каждое производственное предприятие имеет уникальный набор бизнес-процессов, которые используются для разработки, производства и сбыта продукции предприятия. Но независимо от уникальных особенностей предприятия или его набора производственных процессов, каждое предприятие имеет типичный набор задач высокого уровня, а именно:

- Разработка продукции и производственных процессов;
- Проведение производственных операций;
- Управление кадровыми ресурсами;
- Управление финансами и бухгалтерский учет;
- Управление внешними связями.

Для успешной интеграции этих функций и их ресурсов требуется способность делиться и обмениваться информацией о многих событиях, которые происходят во время различных фаз производства. Все производственные системы должны быть в состоянии общаться с другими информационными системами в рамках всей компании.

3. ПРИМЕР. ПРОИЗВОДСТВО ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЦИЛИНДРОВ В МАЛЫХ СЕРИЯХ

В контексте глобализирующегося мира, экономического кризиса и замедляющегося экономического роста каждая компания должна принять ряд мер для того, чтобы выжить и остаться на рынке, чтобы уменьшить риск в производстве и, в конце концов, опять вернуться к росту и получению прибыли. В значительной степени это может стать возможным благодаря производственной стратегии под названием «массовой персонализации» (*mass customization*) как механизма выживания.

Компания «Гидравлические элементы и системы» (*HES Pls*) является компанией для производства гидравлических цилиндров и других гидравлических элементов. Она расположена в юго-восточной Болгарии. Вся производственная деятельность компании на сто процентов подчинена тенденции *LEAN* по принципу «*Pull production*» – «производить на заказ». Специфика производства – в малых сериях. Таблица 1 показывает количество продукции, произведенной на этом заводе в 2013 г. Таблица показывает, что около 77,5 % производства находится в очень небольшом количестве (от 1 до 15 штук). Этот факт индивидуализации продукции вынуждает компании организовать производство таким образом, чтобы быть более гибкими, чтобы производить относительно дешевые продукты хорошего качества. Не секрет, что большие серии заказывают и производят, в основном, в Китае или Индии. Для того чтобы сохранить клиентов и быть на рынке, руководство завода поняло, что надо может предложить широкий спектр гидравлических элементов и доставить их быстро, дешево, в небольших количествах и высокого качества. Это и открыло для компании новую рыночную нишу – единичное и мелкосерийное производство.

Таблица 1. Заказы в 2013 году

Образцов на заказ	Заказов в 2013	
Заказ на 1 образец	1097	13,0%
Заказ на 2 – 5 образца	2950	34,9%
Заказ на – 15 образцов	2505	29,6%
Заказ на 16 – 50 образцов	1430	16,9%
Заказ на 51 – 100 образцов	288	3,4%
Заказ на 101 – 200 образцов	161	2,0%
Заказ на 201 – 311 образцов	19	0,2%
Заказ на 312 образцов	1	0,0%
Итого заказов	8451	100%

3.1. Использование принципа групповых технологий

В нашем случае принцип групповых технологий применялся на всех этапах жизненного цикла продукции: проектирование, изготовление (в том числе сборка и тестирование), приобретение сырья и

планирование [14, 15, 16]. Применяя принцип групповых технологий, организованы группы в соответствии с аналогичными функциями в целях облегчения каждого из процессов, упомянутых выше. Таким образом, группирующие признаки были подразделены на группы, подгруппы и элементы.

Групповые технологии в проектировании.

Процессы проектирования автоматизированы с помощью систем *CAD/CAM/CAE*. Все цилиндры, произведенные на заводе, классифицируются на группы, как показано на *Рис. 1* [17]. В конце классификации имеется «представитель - параметризованный цилиндр». Этот «Параметризованный цилиндр» (ПЦ) включает в себя основные элементы своей группы, а специфические элементы добавляются конструктором. Подобные классификации были сделаны для всех деталей и устройств, произведенных на заводе.

Групповые технологии в производстве и гибкие производственные системы.

Первоначально термин «групповые технологии» был связан с производством. Идея состояла в том, чтобы сгруппировать подобные элементы [22] в соответствии с их сходством для процесса их производства. Таким образом, они могут быть легко получены с использованием в «Клеточных производственных системах» [18, 19] или на «Гибких производственных системах» [9, 12, 20] в зависимости от имеющегося оборудования. В клеточных производственных системах, машины группируются в соответствии с производимым семейством деталей. Главное преимущество в том, что поток материала значительно улучшается, что уменьшает расстояние, проходимое материалом и инвентарем, а также время для производства. Вначале на заводе было организовано производство в соответствии с принципами клеточного производства, поскольку на заводе были такие производственные машины. Позже были куплены новые станки с системой ЧПУ, и производство стало соответствовать типу ГПС.

Групповые технологии в сборке и испытании.

Тот же подход групповых технологий был применен и к процессам сборки и испытаний. На заводе [15, 16] были организованы десять сборочно-испытательных линий потока (*ATFL*). Классификация производимых цилиндров играла главную роль в организации этих сборочных линий. Правильная группировка продуктов позволила использовать все преимущества групповых технологий и значительно сократить время и стоимость производства. На основе анализ производства на заводе, была разработана новая схема классификации. В этой новой схеме все гидравлические цилиндры были классифицированы в соответствии с их функциями: одинарного и двойного действия. Тип действия обладал специальное

оборудование, которое будет установлено в линиях, где были собраны и испытаны эти цилиндры. Следующая ветвь этой системы классификации была посвящена типам цилиндров: поршневых, плунжерных, телескопических и специального типа. Затем цилиндры были разделены в соответствии с их размерами [15, 16].

Основные соображения, которые принимались во внимание при проектировании монтажно-испытательных линий, были:

- Большие цилиндры были тяжелыми, и в их сборочно-испытательной линии было включено подъемное устройство;
- Для длинных цилиндров требуется горизонтальная сборка, в то время как для сборки коротких цилиндров монтажные стойки могут быть вертикальными;
- Сборка и испытания малых (в диаметре) и коротких цилиндров было организовано в одну линию.
- Телескопические цилиндры имели в спецификации операции сборки и испытаний, и они должны были быть расположены на отдельной линии.
- Были спецификации в сборке и испытании цилиндров двойного действия, и поэтому они были расположены на другой отдельной линии.

3.2. Управляющее программное обеспечение

Все процессы на заводе контролируются системой PLM, которая была разработана на заводе для его потребностей и называется СЕМБА [21]. Использование этой системы сокращает время производства и помогает избежать возможных ошибок. Эта система охватывает весь жизненный цикл продукта от появления первоначальной идеи, инженерного проектирования, производства, обслуживания и его утилизации. Она объединяет людей, данные, процессы и все остальные компьютерные системы на заводе. Она взаимодействует со всеми другими компьютерными системами, такими как CAD, CAM, ERP и PDM, тем самым обеспечивая интегрированное представление всех бизнес-процессов на заводе в режиме реального времени с использованием общих баз данных.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИНЦИПОВ АВТОМАТИЗАЦИИ В МАССОВОЙ ИНДИВИДУАЛИЗАЦИИ ИССЛЕДУЕМОГО ЗАВОДА

Рис. 2 иллюстрирует изменения в продукции компании с 1998 года. Наиболее впечатляющим является то, что среднее число цилиндров в серии сократилось с 60 в 1999 году до 14 в 2013 году, хотя общий объем производства остался более или менее на уровне 2004 года (за исключением периода глобального кризиса в 2009 году). В то же время номенклатура увеличилась примерно с 100 типов в 1998 году до примерно 6000 типов производимых цилиндров 2013 году. Это

означает, что компания полностью соблюдает требования клиентов и держит цены более или менее в том же самом уровне. Можно заключить, что эти изменения характерны для современного промышленного производства и это хороший пример его массовой персонализации.

На Рис. 3. показаны результаты компании после того, как компания перешла на массовую персонализацию продукции. В результате мер, описанных выше, производительность труда увеличилась в 5 раз. Из рисунка видно, что самые большие инвестиции были сделаны в период кризиса в 2009 году.

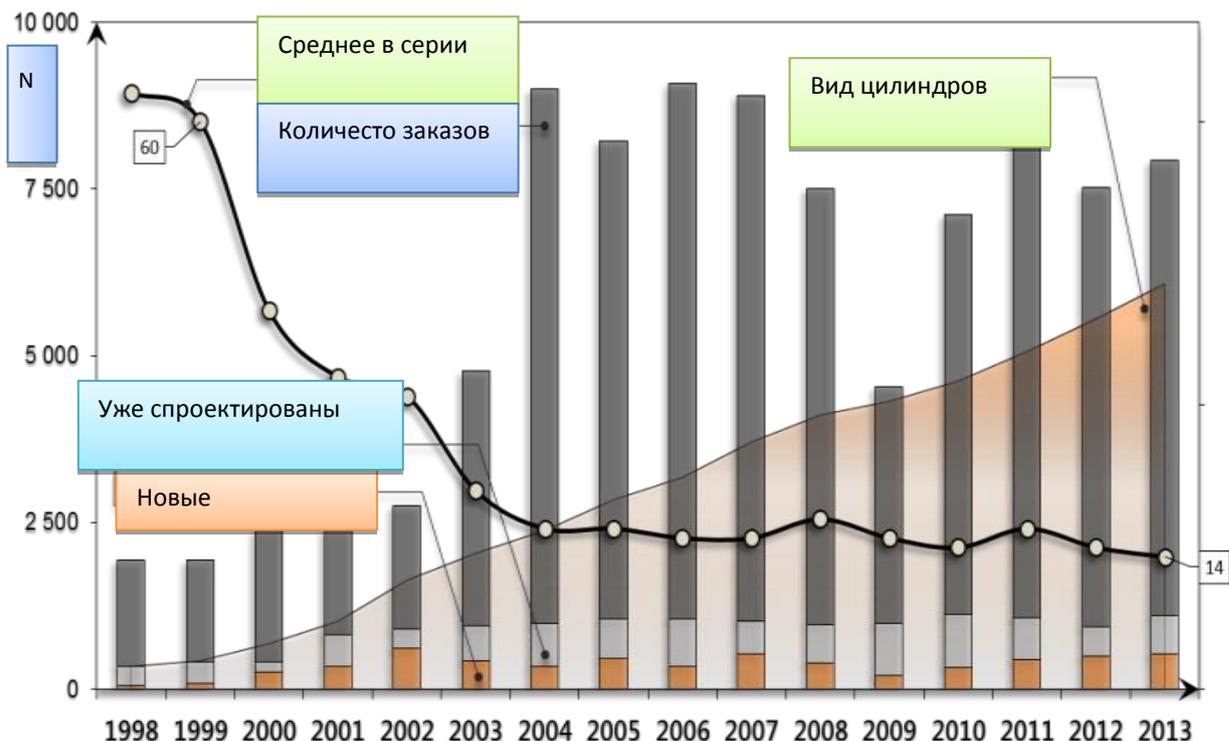


Рис. 2. Иллюстрация персонализации производства на заводе с 1998 по 2013 год

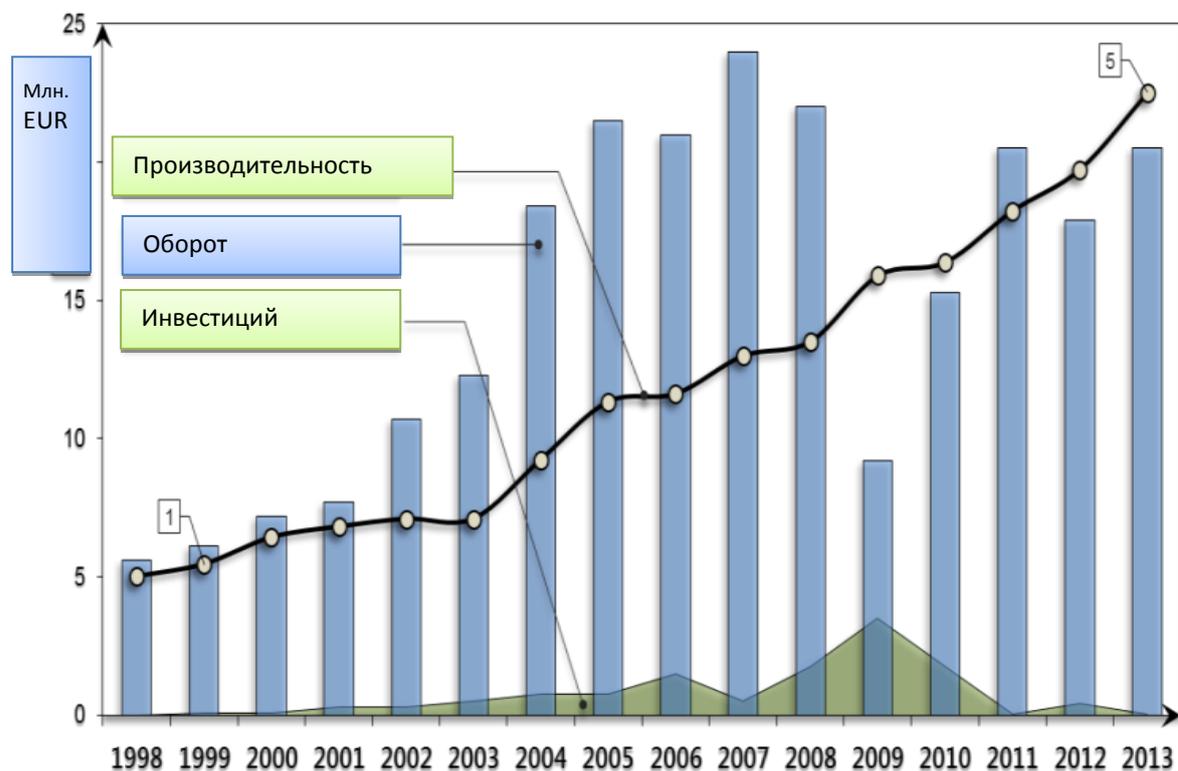


Рис. 3. Инвестиции, оборот и производительность труда в компании с 1998 по 2013 год

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокая эффективность и относительно низкая стоимость массовой персонализации может быть достигнута за счет использования подхода LEAN, групповых технологий, компьютеризированного производства и гибких производственных систем. Посредством применения этих методов на исследуемом заводе с 1998 года, достигнуты следующие цели:

- Объем производства увеличился в 4-5 раз;
- Численность работников сократилась в 3,1 раза;
- Число претензий клиентов уменьшилось до 0,02%;
- Образовательный уровень сотрудников и рабочих был значительно улучшен;
- Производственный цикл сократился с 6-7 недель до 1-2 недель.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] G. Silveira, D. Borenstein, F. Fogliatto, Mass customization: Literature review and research directions. *International Journal of Production Economics*, Vol.72, No.1, 2001, pp. 1–13.
- [2] M. Onken, M. Strategic Global Mass Customization: Supporting Generic And Global Strategies. *International Journal of Management & Information Systems*, Vol.15, No2, 2011, pp. 71-78.
- [3] B. Brief, Making it personal: Rules for success in product customization. <http://www.bain.com/publications/articles/making-it-personal-rules-for-success-in-product-customization.aspx> (31.08.2015).
- [4] O. Taiichi. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press, Portland, 1988.
- [5] J.P. Womack, J.P., D.T. Jones. *Lean Thinking*. 2nd ed. Simon&Schuster Inc., 1996.
- [6] Four Lean principles. <http://www.fourprinciples.ie/lean/principles#.VeWlYU3os5s> (01.09.2015)
- [7] Principles of lean. <http://www.lean.org/WhatsLean/Principles.cfm> (01.09.2015).
- [8] L.S. Lawrence, What's the technology in GT? *Managing Automation*, July 1986, pp. 51-56.
- [9] M.P. Groover, *Automation, production systems and computer-integrated manufacturing*. 3rd ed., Prentice Hall, 2007.
- [10] P.M. Swamidass, *Encyclopedia of production and manufacturing management*. Springer, 2000.
- [11] J. Harrington, *Computer Integrated Manufacturing*. Krieger Pub Co., 1979.
- [12] H. Zhang, L. Alting, *Computerized manufacturing process planning systems*. Springer, 1994.
- [13] J.A. Rehg, H. Kraebber, *Computer Integrated Manufacturing*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2004.
- [14] L. Dimitrov, P. Nedyalkov, A. Todorov, Automation in Design and Analysis of Hydraulic Cylinders. *Proceedings of the 7th International Conference Research and Development of Mechanical Elements and Systems*, Zlatibor, Serbia, 2011, pp. 209-212.
- [15] L. Dimitrov, R. Shikov, H. Bankov, M. Klochkova, Automated Assembly of Hydraulic Cylinders in Small and Medium Size Production, *Proc. 32nd*

Congress with Int. Participation HIPNEF, Vrnjačka Banja, Serbia, 2009, pp. 25-33.

- [16] L. Dimitrov, S. Yordanova, Optimal Fuzzy Logic Based Enterprise Resource Planning System for Hydraulic Cylinders Assembly. – *International Journal of Systems Application, Engineering & Development*, Vol.5, No5, 2011, pp. 634-641.
- [17] L. Dimitrov, S. Spasov. Automation in small series batch production. A case study, *2nd International Conference "Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications" COMETA 2014*, Sarajevo, pp. 9-16.
- [18] S. Irani, *Handbook of Cellular Manufacturing Systems*, John Wiley & Sons, 1999.
- [19] H. Nancy, U. Wemmerlov, *Reorganizing the Factory: Competing through Cellular Manufacturing*, Portland, OR, 2002.
- [20] T. Tolio, *Design of Flexible Production Systems – Methodologies and Tools*. Berlin: Springer, 2009.
- [21] SEMBA: User Manual, 2008.
- [22] Митрофанов, С.П. Групповая технология машиностроительного производства. Ленинград, Машиностроение, 1983.



Вадим А. Жмудь, заведующий кафедрой Автоматики в Новосибирском государственном техническом университете, автор более чем 300 научных работ, включая более 20 патентов, 12 учебных пособий.
E-mail: zhmud@corp.nstu.ru



Любомир В. Димитров, декан машиностроительного факультета Технического университета Софии (София, Болгария), доктор наук, профессор, автор более 200 научных статей. Область исследований: мехатроника, автоматика, микроэлектронные модули и системы и их применение (MEMS).
E-mail: lubomir_dimitrov@tu-sofia.bg

Automation in Small Batch and Unit Production

L. Dimitrov, V. Zhmud

Abstract: One of the basic requirements of present-day market is the customization of goods and services offered. As the production process is driven by the market requirements it should fulfil in these requirements by changing the principle “the more the better” to the new principle “the more variety the better”, which meets the flexibility in modifications and the customer requirements for fast delivery, good quality and relatively low cost (in comparison with the cost in mass production). This could be done by the use of special approaches and techniques such as Group technology approach, LEAN approach, Computer Integrated Manufacturing approach (CIM), Flexible Manufacturing Systems (FMS), Product Lifecycle Management systems (PLM), Enterprise

Resource Planning systems (ERP) and some others. In this paper the experience in mass customization in single and small series batch production in a factory in Bulgaria is presented as a case study. The factory is a medium size enterprise and produces hydraulic cylinders, hydraulic pumps, hydraulic motors, and other hydraulic elements. The main specific of this production is the small number of elements in a series and the production can be determined as a single and small series production. Hundred percent of production is based on the principle of “Pull production” (or “Make to Order”). These specifics and the requirement for flexibility, low cost and high quality demand implementation of innovative technologies in design, production, assembly and testing of the goods produced by the company.

Key words: automation, small-scale production, classification, group technology

REFERENCES

- [1] G. Silveira, D. Borenstein, F. Fogliatto, Mass customization: Literature review and research directions. *International Journal of Production Economics*, Vol.72, No.1, 2001, pp. 1–13.
- [2] M. Onken, M. Strategic Global Mass Customization: Supporting Generic And Global Strategies. *International Journal of Management & Information Systems*, Vol.15, No2, 2011, pp. 71-78.
- [3] B. Brief, Making it personal: Rules for success in product customization. <http://www.bain.com/publications/articles/making-it-personal-rules-for-success-in-product-customization.aspx> (31.08.2015).
- [4] O. Taiichi. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press, Portland, 1988.
- [5] J.P. Womack, J.P., D.T. Jones. *Lean Thinking*. 2nd ed. Simon&Schuster Inc., 1996.
- [6] Four Lean principles. <http://www.fourprinciples.ae/lean/principles#.VeWIYU3os5s> (01.09.2015)
- [7] Principles of lean. <http://www.lean.org/WhatsLean/Principles.cfm> (01.09.2015).
- [8] L.S. Lawrence, What's the technology in GT? *Managing Automation*, July 1986, pp. 51-56.
- [9] M.P. Groover, *Automation, production systems and computer-integrated manufacturing*. 3rd ed., Prentice Hall, 2007.
- [10] P.M. Swamidass, *Encyclopedia of production and manufacturing management*. Springer, 2000.
- [11] J. Harrington, *Computer Integrated Manufacturing*. Krieger Pub Co., 1979.
- [12] H. Zhang, L. Altng, *Computerized manufacturing process planning systems*. Springer, 1994.
- [13] J.A. Rehg, H. Kraebber, *Computer Integrated Manufacturing*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2004.
- [14] L. Dimitrov, P. Nedyalkov, A. Todorov, Automation in Design and Analysis of Hydraulic Cylinders. *Proceedings of the 7th International Conference Research and Development of Mechanical Elements and Systems*, Zlatibor, Serbia, 2011, pp. 209-212.
- [15] L. Dimitrov, R. Shikov, H. Bankov, M. Klochkova, Automated Assembly of Hydraulic Cylinders in Small and Medium Size Production, *Proc. 32nd Congress with Int. Participation HIPNEF, Vrnjačka Banja, Serbia, 2009*, pp. 25-33.
- [16] L. Dimitrov, S. Yordanova, Optimal Fuzzy Logic Based Enterprise Resource Planning System for Hydraulic Cylinders Assembly. – *International Journal of Systems Application, Engineering & Development*, Vol.5, No5, 2011, pp. 634-641.
- [17] L. Dimitrov, S. Spasov. Automation in small series batch production. A case study, *2nd International Conference “Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications” COMETA 2014*, Sarajevo, pp. 9-16.
- [18] S. Irani, *Handbook of Cellular Manufacturing Systems*, John Wiley & Sons, 1999.
- [19] H. Nancy, U. Wemmerlov, *Reorganizing the Factory: Competing through Cellular Manufacturing*, Portland, OR, 2002.
- [20] T. Tolio, *Design of Flexible Production Systems – Methodologies and Tools*. Berlin: Springer, 2009.
- [21] SEMBA: User Manual, 2008.
- [22] Mitrofanov, S.P. Grupovaja tehnologija mashinostroitel'nogo proizvodstva. Leningrad, Mashinostroenie, 1983.