

УДК 658.5.011 + 658.512.8

А.В. Вожаков

ОАО «Мотовилихинские заводы», Пермь, Российская Федерация

СИНХРОНИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МЕЛКОСЕРИЙНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

Рассматривается постановка задачи построения синхронизированной системы управления мелкосерийным производством, базирующейся на лучших практиках оптимизации производственных процессов, таких как Lean и QRM. Принцип работы системы заключается в интеллектуальном анализе текущего состояния производства и ограничении запуска производства, не обеспеченного ресурсами, на последующих этапах обработки.

Ключевые слова: производственная система, система управления, синхронизированная система, интеллектуальная система, Lean, QRM, математическое моделирование, мелкосерийное производство.

A.V. Vozhakov

PSC "Motovilikhinskiye zavody", Perm, Russian Federation

SYNCHRONIZED SMALL-SCALE PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEM

The problem statement of the construction of the small-scale production synchronized management system, based on best practices of the production processes optimization such as Lean and QRM is being considered. The work system is mainly based on an intellectual analysis of the current production status and the limited stop production provided with recourses in the subsequent processing steps.

Keywords: production system, management system, synchronized system, intelligent system, Lean, QRM, mathematical modeling, small-scale production.

Введение

Современный уровень развития технологий диктует новые правила организации производства товаров и услуг [1, 2]. Времена массового производства одинаковых товаров остались в прошлом, пришло время максимальной кастомизации товаров под потребности потребителя, что требует от производителей товаров снижать размер партии заказов, постоянно быть готовыми производить новые виды продуктов, продукцию по индивидуальным заказам. В купе с изменчивостью спроса на рынке это ставит перед руководством предприятия сложные

задачи, которые тем сложнее, чем сложнее процесс производства продукта, чем больше деталей входит в его состав, чем длиннее технологические цепочки на предприятии. За последние годы получили свое развитие автоматизированные системы управления производством (ERP/MES) [3], практики построения и оптимизации производственных процессов (Lean, TOC, QRM) [4], однако в полной мере данные практики работают лишь для массовых поточных производств и часто не применимы для мелкосерийных позаказных производств сложной наукоемкой продукции. Как правило, на таких производствах внедрена ERP-система, вводится принцип 5С [4], и на этом использование современных инструментов управления заканчивается [2]. При этом эффективность данных производств остается низкой, в системе крайне много потерь, сохраняются длительные циклы производства продукции и высокий уровень запасов на всех этапах производства.

1. Предпосылки создания синхронизированной системы

В работе [5] дается последовательное обоснование того, что ERP-система является «выталкивающей» системой управления, что означает организацию движения материальных потоков через производственную систему, при которой материальные ресурсы подаются с предыдущей операции на последующую в соответствии с заранее сформированным жестким графиком поставок. Материальные ресурсы поставляются с одного звена производственной логистической системы на другое. Для каждой операции общим расписанием устанавливается время, к которому она должна быть завершена. Полученный продукт идет дальше и становится запасом незавершенного производства на входе в следующую операцию. Однажды рассчитанный план является обязательным для исполнения производством. Если на этапе сборки изделий возникнет серьезная проблема, не позволяющая длительное время производить определенный вид продукции, ERP-система не остановит заготовительное производство по данному заказу, что далее приведет к производству невостребованных деталей незавершенного производства, загрузке мощностей невостребованной продукцией и т.д. Пересчет графика производства продукции происходит достаточно редко (занимает длительное время, требуется подведение итогов, возникают организационные проблемы), что не позволяет с помощью пересчета добиться постоянно актуального плана производства. На практике по-

стоянные отклонения, возникающие в производстве, приводят его под управлением ERP-системы в состояние, при котором уровень незавершенного производства постоянно увеличивается, срывы сроков станоятся все более частыми, при этом оборудование постоянно простаивает ввиду отсутствия нужных деталей для обработки. Элементы системы (производственные подразделения) живут своей жизнью (выполняют рассчитанный план) без учета отклонений, возникающих в других элементах системы.

В различных источниках, посвященных практике внедрения бережливого производства, теории ограничений и быстро реагирующего производства, приводится подробное обоснование того, что «выталкивающие» системы, сталкиваясь с постоянными отклонениями и не имея внутренних механизмов для их контроля, быстро увеличивают уровень незавершенного производства, производят невостребованную продукцию и несут другие потери.

В противовес «выталкивающей» системе приводится понятие «вытягивающей» логистической системы, т.е. такой организации движения материальных потоков, при которой материальные ресурсы подаются («вытягиваются») на технологическую операцию *по мере необходимости*, в связи с этим жесткий график движения материальных потоков отсутствует. Существует и более простое определение системы вытягивания: это система управления производством, объем запасов в которой определенным образом ограничен [6].

В литературе по бережливому производству описаны следующие принципы «вытягивающего» производства [6], которые хорошо себя зарекомендовали в крупносерийном производстве и схематично показаны на рис. 1–4:

- восполнение супермаркета;
- лимитированные очереди по методу ФИФО (First In, First Out – «первым пришел – первым ушел»);
- метод «барабан – буфер – веревка»;
- лимит незавершенного производства (НЗП).

В быстро реагирующем производстве [7] предлагается система контроля POLCA (накладывающиеся друг на друга циклы взаимодействия попарно соединенных ячеек при помощи карточек и авторизации – *paired-cell overlapping loops of cards with authorization*), разработанная для применения на мелкосерийных производствах, организо-

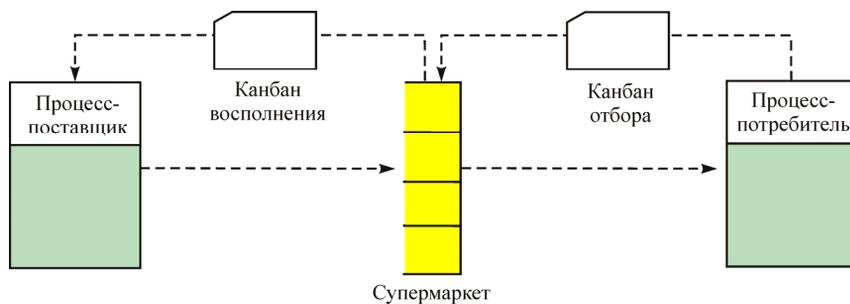


Рис. 1. Принцип работы супермаркета

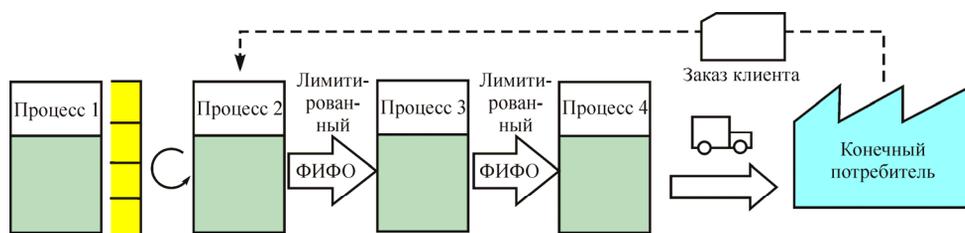


Рис. 2. Принцип работы лимитирующей очереди ФИФО

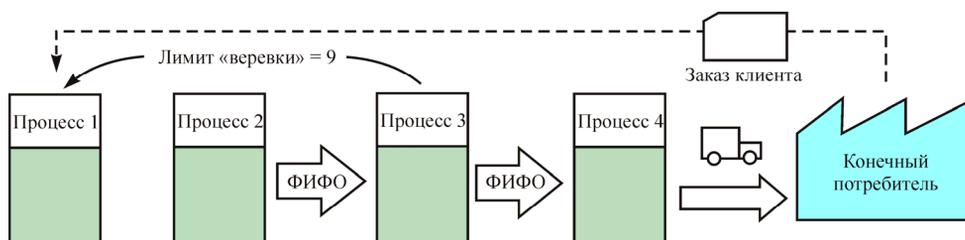


Рис. 3. Принцип работы метода «барабан – буфер – веревка»

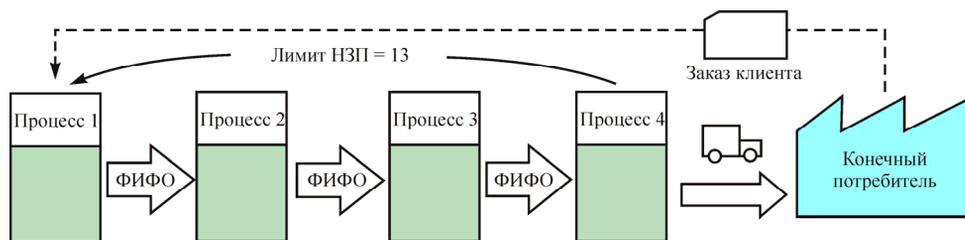


Рис. 4. Принцип работы лимитирования НЗП

ванных по принципам QRM, которая использует план, рассчитанный в ERP-системе, для определения объема работ и циркулирующие карточки пар ячеек, находящихся в единой цепочке работ. Задача карточек аналогична супермаркету, но адаптирована для мелкосерийного производства: если производственное подразделение (цех, ячейка, рабочий центр) не имеет карточки от потребителя, оно не может выполнять работы, а, когда есть карточка, подразделение выполняет план из ERP-системы.

Описанные выше методы реализуются в производстве либо без использования автоматизированной системы, либо используя ее как источник информации о следующих работах. Описанные способы организации «вытягивающего» производства являются частными случаями (крупносерийное производство или цепочка производственных ячеек). Необходимы постановка и решение задачи построения и автоматизации «вытягивающего» производства для общего случая организации производства, не накладывая дополнительных ограничений на объект применения системы.

Таким образом, целесообразным является разработка автоматизированной системы синхронизации производства, позволяющей организовать «вытягивающее» производство при мелкосерийном производстве сложной продукции, которая в режиме реального времени дает возможность отслеживать состояние производства в целом, выявлять отклонения, автоматически приостанавливать выполнение невостребованных работ и, наоборот, повышать приоритет работ, выполнение которых в данный момент наиболее актуально.

2. Концептуальная постановка задачи

В качестве объекта исследования рассмотрим мелкосерийное универсальное производство с широким спектром высокономенклатурной разнообразной продукции. Будем также считать, что на предприятии внедрена ERP-система, построенная на стандартной для MRP II [8] модели данных:

- заданы ресурсные спецификации на изделия и полуфабрикаты;
- заданы технологические маршруты изготовления, содержащие как минимум маршрут движения детали по цехам и расширенные перечнем технологических операций с указанием трудоемкости и используемого оборудования (рис. 5);

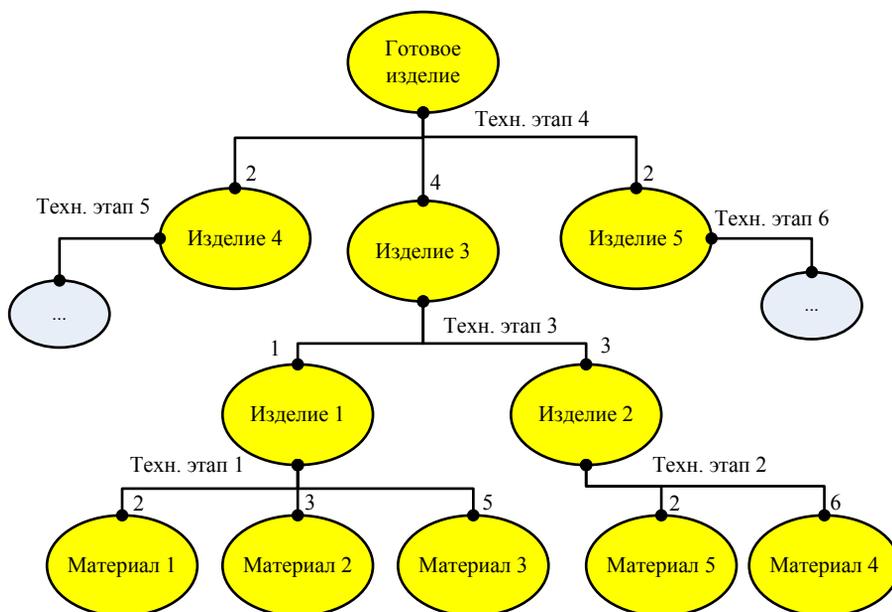


Рис. 5. Схематическое изображение структуры продукта

- введены календарные нормативы длительности маршрутных переходов;
- сформирован главный календарный план производства, определяющий потребность в выпуске продукции по датам потребности, разделенный по заказам клиента и партиям выпуска продукции внутри заказа;
- известны наличие, местоположение, тип и другие характеристики рабочего оборудования;
- рассчитан календарный план производства [9], определяющий даты начала и завершения обработки партий деталей в цехах (далее – работы); для каждой работы определен следующий набор информации: заказ клиента, партия выпуска, цех-исполнитель, используемое оборудование с указанием необходимого ресурса (трудоемкость), дата начала, дата завершения, работы-предшественники, работы-последователи;
- известны остатки товарно-материальных ценностей на складах, план поступления закупок;
- известна информация о графиках работы оборудования, плановых и аварийных простоях;

- ведется оперативный учет начала и завершения выполнения работ в цехе;
- ведется оперативный учет внеплановых простоев оборудования;
- ведется оперативный учет поступления и перемещения товарно-материальных ценностей.

Дополнительно в ERP-систему введена следующая информация:

- максимальное количество изделий, находящихся в производстве по каждому заказу (данная информация необходима для ограничения уровня незавершенного производства внутри заказа);
- максимальный размер очереди работ по цехам (данное ограничение необходимо для ограничения уровня незавершенного производства по подразделениям);
- максимальный размер очереди по видам оборудования цехов (данное ограничение позволяет управлять загрузкой «узких мест» производства);
- приоритеты заказов по десятибалльной шкале;
- целевой уровень загрузки производства (%).

Требуется разработать систему синхронизации производства, которая, основываясь на информации, находящейся в ERP-системе, в режиме реального времени формирует следующие управляющие воздействия:

1. Изменяет статус запланированных работ «Активна/Неактивна». Работа со статусом «Неактивна» не может быть взята к выполнению цехом. Работа со статусом «Активна» может быть выполнена цехом при условии, что уже подошло время начала выполнения работ и имеются все необходимые ресурсы и материалы.

2. Изменяет приоритет работы. Приоритет работ определяет порядок принятия работ цехом при совпадающих датах начала работ.

Система должна работать по следующим принципам:

1. Деактивировать все работы по заказу, которые необходимы для производства продукции сверх максимального уровня незавершенного производства по заказу. Если производство по заказу разбито на несколько партий (строк заказа), то суммарный выпуск продукции по активным строкам заказа не должен превышать максимальный уровень НЗП за вычетом продукции с заверненным циклом производства. По каждому заказу должна быть активна по крайней мере одна строка заказа.

2. Активировать работы по заказу при выпуске продукции и снижении уровня НЗП по заказу ниже его максимального уровня.

3. Деактивировать все работы, для которых не выполнены работы-предшественники.

4. Формировать очередь работ в цехе из запланированных работ, для которых выполняются условия: все работы-предшественники завершены, дата начала работ наступила, работы выполняются в данном цехе. При этом выполняется двойная сортировка очереди – по дате начала и по приоритету задачи.

5. Деактивировать все работы в очереди работ цеха, порядковый номер в очереди для которых превышает максимальный размер очереди работ по цеху.

6. Формировать очередь работ для каждого вида оборудования в цехе из запланированных работ, для которых выполняются следующие условия: все работы-предшественники завершены, дата начала работ наступила, работы выполняются на данном оборудовании. При этом выполняется двойная сортировка очереди – по дате начала и по приоритету задачи.

7. Деактивировать все работы в очереди работ оборудования, порядковый номер в очереди для которых превосходит максимальный размер очереди работ по оборудованию.

8. Рассчитать оперативный показатель загрузки производства (для цеха или производства в целом) как отношение количества активных работ к количеству единиц оборудования.

9. Деактивировать все работы, не имеющие работ-предшественников (заготовительное производство), при превышении показателя загрузки производства максимального значения.

Кроме того, система должна иметь способность к самообучению и прогнозированию будущего состояния производства с целью внесения дополнительных корректировок в приоритеты работ и статусы активности, что требует постановки задачи оптимального управления и создания центров поддержки принятия коллективных управленческих решений [10].

Реализация такой системы позволит синхронизировать производственные подразделения и организовать «вытягивающую» производственную систему.

Заключение

Практическая реализация синхронизированной системы управления мелкосерийным производством позволит значительно повысить эффективность производства, радикально снизить уровень незавершенного производства, цикл производства продукции, затраты на производство. Дополнительно это приведет к значительному повышению качества планирования, актуальности данных в системе и повышению организационной управляемости производства.

Список литературы

1. Гаврилов А.В. Гибридные интеллектуальные системы. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2002. – 142 с.
2. Голоктеев К., Матвеев И. Управление производством: инструменты, которые работают. – СПб.: Питер, 2008. – 251 с.
3. Евстратов С.Н., Вожаков А.В., Столбов В.Ю. Автоматизация планирования производства в рамках единой информационной системы многопрофильного предприятия // Автоматизация в промышленности. – 2012. – № 2. – 17–20.
4. Управление качеством продукции на современных промышленных предприятиях: монография / С.А. Федосеев, М.Б. Гитман, В.Ю. Столбов, А.В. Вожаков. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – 229 с.
5. Фролов Е.Б. Производственная логистика, или что такое «вытягивающее» планирование? [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.i-mash.ru/economy/7691-vytalkivajushhaja-vytjagivajushhaja-sistemy.html> (дата обращения: 15.04.2016).
6. Хэллетт Д. Обзор систем вытягивания [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.PullScheduling.com> (дата обращения: 15.04.2016).
7. Сури Р. Время – деньги. Конкурентное преимущество быстро реагирующего производства. – М.: БИНОМ, 2013. – 326 с.
8. Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP II. – СПб.: Питер, 2002. – 560 с.
9. Федосеев С.А., Вожаков А.В., Гитман М.Б. Управление производством на тактическом уровне планирования в условиях нечеткой исходной информации // Проблемы управления. – 2009. – № 5. – С. 36–43.

10. Вожаков А.В., Гитман М.Б., Столбов В.Ю. Ситуационный центр как инструмент интеллектуализации системы управления производством // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2 (22). – С. 45–49.

References

1. Gavrilov A.V. *Gibridnye intellektual'nye sistemy* [Hybrid intelligent systems]. Novosibirsk, 2002. 142 p.

2. Golokteev K., Matveev I. *Upravlenie proizvodstvom: instrumenty, kotorye rabotaiut* [Production management: tools that work]. Saint Petersburg, 2008. 251 p.

3. Evstratov S.N., Vozhakov A.V., Stolbov V.Iu. *Avtomatizatsiia planirovaniia proizvodstva v ramkakh edinoi informatsionnoi sistemy mnogoprofil'nogo predpriiatiia* [Automation of production planning into a single information system of multi-enterprise]. *Avtomatizatsiia v promyshlennosti*, 2012, no. 2, pp. 17-20.

4. Fedoseev S.A., Gitman M.B., Stolbov V.Iu., Vozhakov A.V. *Upravlenie kachestvom produktsii na sovremennykh promyshlennykh predpriiatiakh* [Quality management in the modern industrial enterprises]. Perm', 2011. 229 p.

5. Frolov E.B. *Proizvodstvennaia logistika, ili chto takoe «vytiagivaiushchee» planirovanie?* [Production logistics], available at: <http://www.i-mash.ru/economy/7691-vytalkivajushhaja-vytjagivajushhaja-sistemy.html> (accessed 15 April 2016).

6. Khellett D. *Obzor sistem vytiagivaniia* [Overview drawing systems], available at: <http://www.PullScheduling.com> (accessed 15 April 2016).

7. Suri R. *Vremia – den'gi. Konkurentnoe preimushchestvo bystro-reagiruiushchego proizvodstva* [Time is money. Competitive advantage of more responsive production]. Moscow, 2013. 326 p.

8. Gavrilov D.A. *Upravlenie proizvodstvom na baze standarta MRP II* [Production management on the basis of MRP II standard]. Saint Petersburg, 2002. 560 p.

9. Fedoseev S.A., Vozhakov A.V., Gitman M.B. *Upravlenie proizvodstvom na takticheskom urovne planirovaniia v usloviakh nechetkoi iskhodnoi informatsii* [Production management on the tactical level of planning under the fuzzy initial information]. *Problemy upravleniia*, 2009, no. 5, pp. 36-43.

10. Vozhakov A.V., Gitman M.B., Stolbov V.Iu. Situatsionnyi tsentr kak instrument intellektualizatsii sistemy upravleniia proizvodstvom [Situation centre as an instrument of intellectualization of production management systems]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2013, no. 2 (22), pp. 45-49.

Получено 24.04.2016

Сведения об авторе

Вожаков Артем Викторович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, директор по информационным технологиям ПАО «Мотовилихинские заводы» (614014, г. Пермь, ул. 1905 года, 35, e-mail: vozhakov@yandex.ru).

About the author

Artem V. Vozhakov (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, CIO, PSC “Motovilikhinskiye zavody” (35, 1905 year st., Perm, 614014, Russian Federation, e-mail: vozhakov@yandex.ru).