

В.В. Лебедев¹, С.Е. Жаринов²

Инновационные подходы к созданию системы управления высокотехнологичным производством

Вводные замечания

ОАО «Ковровский электромеханический завод» (КЭМЗ) специализируется на выпуске гидроаппаратуры и, в частности, является лидером в производстве электрогидравлических приводов для управления высокотехнологичными комплексами различного назначения. Продукция завода удовлетворяет требованиям международных стандартов качества, изготавливается на самом современном оборудовании с широким применением новейших технологий металлообработки и методов организации труда. За последние пять лет объём продаж КЭМЗ в денежном выражении вырос более чем в 8 раз. В рамках реализации инновационной политики предприятия особое внимание уделяется организационно-управленческим структурам, в первую очередь, разработке и развитию собственной системы управления производством.

Сегодня среди руководителей российских производственных предприятий нет единства в понимании подходов к созданию соответствующих систем. Часто приходится слышать, например, о попытках применения принципов TQM (всеобщего управления качеством), о внедрении методов Lean (бережливого производства) и других инструментов локального совершенствования. Однако шлифовать целесообразно только то, что имеет хорошую основу, иными словами, некоторый базовый набор правил организации, планирования, учёта и контроля производственного процесса, – пусть и не самых совершенных, но отвечающих современным потребностям. В практике же отечественной промышленности до сих пор нередко преобладает модель, основы которой ещё сто лет назад были заложены Тейлором и суть которой сводится к тотальному нормированию операций и сдельной оплате труда. Эту модель бессмысленно улучшать; её следует заменить на более адекватную.

¹ генеральный директор ОАО «Ковровский электромеханический завод»
(г. Ковров Владимирской области)

² генеральный директор ООО «ЛИПРО Р» (г. Москва), к.т.н.

Краткая характеристика подходов

В течение последних нескольких лет на КЭМЗ разрабатывается и проходит апробацию система управления производством, основные элементы которой показаны на рис. 1.

- Система материальных потоков (чем управлять?) строится на принципах *теории ограничений систем (ТОС)* с применением следующих подходов:
 - отказ от «процессных деревьев» и *организация предметно-замкнутых производственных линеек* по группам ДСЕ с разделением всех позиций на два класса:
 - (1) обеспечивающих изготовление «по заказу» (к заданным срокам);
 - (2) поддерживающих режим работы «по уровню» запасов (например, в кладовых комплектации сборочных отделений);
 - назначение «стратегического» внутреннего ограничения системы в точке схождения материальных потоков (то есть на конечной сборке); синхронизация работы ограничения по выходному потоку; вытягивание нужных ДСЕ из механообрабатывающих подразделений в соответствии с потребностями сборки;
 - оперативное реагирование (методами Lean и TQM) на появление в потоках блуждающих узких мест и «тактических» ограничений.
- Информационная система (как управлять?) разрабатывается на принципах укрупнённого планирования, учёта и контроля ТОС с применением следующих подходов:
 - предварительное планирование запусков по упрощённой схеме **S-DBR** (*Simplified Drum-Buffer-Rope*, для ДСЕ первого класса) и «пополнение» типа **MTA** (*Make-To-Availability*, для ДСЕ второго класса);



Рис. 1. Основные элементы производственной системы.

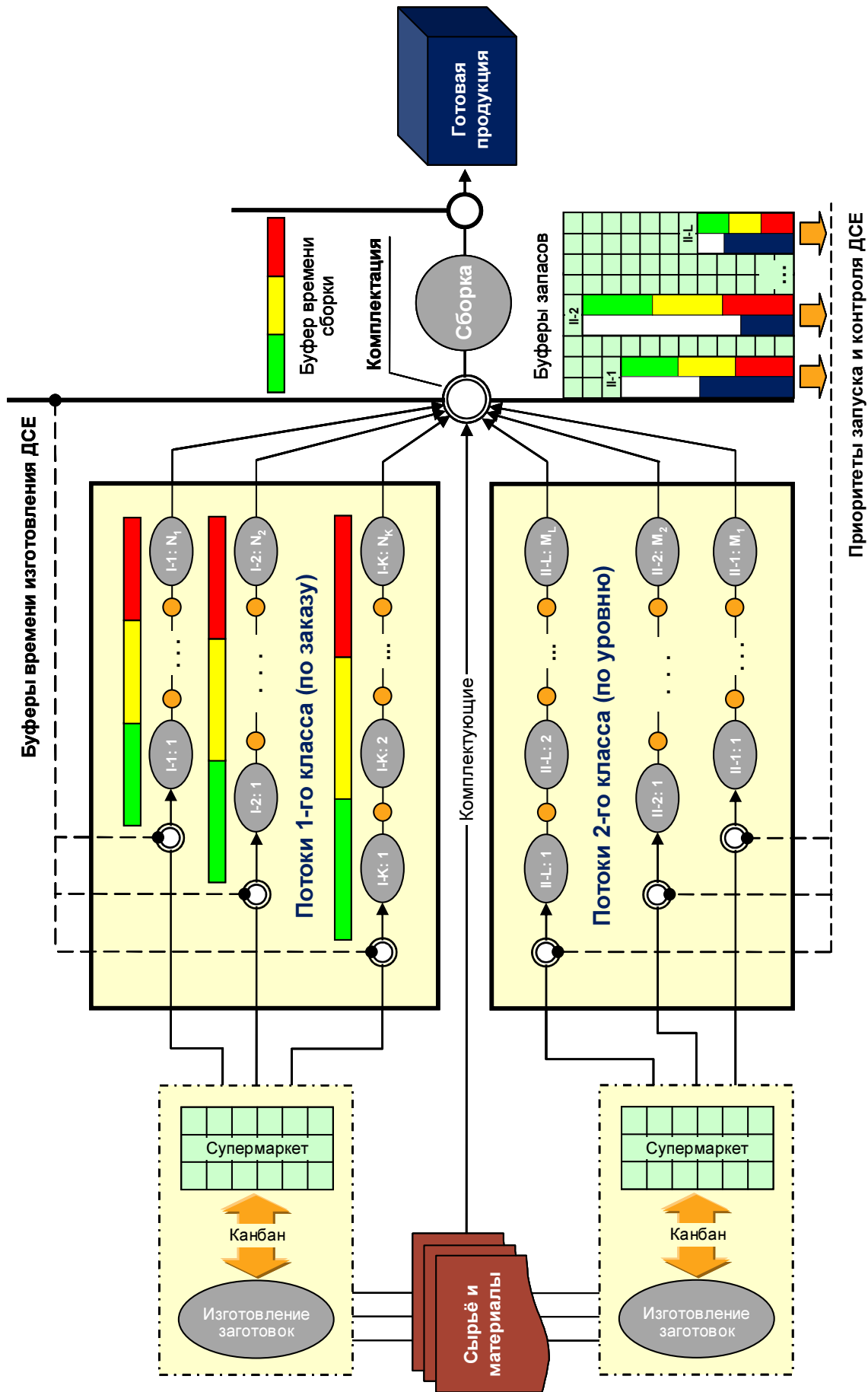


Рис. 2. Обобщённая модель управления материальными потоками.

- организация фактических запусков по текущему состоянию потоков (для ДСЕ первого класса, – на основе анализа размеров незавершённого производства) и наличие запасов в кладовых комплектации (для ДСЕ второго класса);
 - организация учёта движения всех материальных потоков в нескольких ключевых точках (межцеховые / межучастковые переходы);
 - диспетчирование и контроль состояния потоков с применением схемы «раннего предупреждения», – на основе приоритетов, определяемых по степени пробоя «красных зон» буферов времени или запасов (**DBM**, *Dynamic Buffer Management*).
- Показатели результативности (зачем управлять?) формируются исходя из принципа оценки работ по конечным результатам с использованием следующих подходов:
- разграничение полномочий центрального и локального уровней управления; баланс прав и ответственности исполнителей;
 - отказ от локальных критериев (загрузка оборудования, нормочасы); согласование интересов всех основных участников производственной системы (владельцев, клиентов, работников).

На рис. 2 представлена общая схема управления материальными потоками в рамках разрабатываемой производственной системы КЭМЗ. Верхняя часть диаграммы соответствует потокам с управлением «по заказу», нижняя – «по уровню». Ниже в статье более подробно описаны, главным образом, подходы к реализации информационной части системы, а также приводятся некоторые соображения по выбору необходимых показателей результативности.

Механизмы управления потоками «по заказу»

Управление «по заказу» (потоки первого класса) – это набор способов организации типовых материальных потоков, а также формирования, запуска и контроля выполнения производственных заданий на изготовление ДСЕ, – на основании «внешних» клиентских заказов.

Планирование и контроль состояния потоков первого класса осуществляется централизованно в двух точках управления, – запуск соответствующих партий ДСЕ в производство и их поступление в сборочные отделения (схема **S-DBR**, рис. 3). Исходные параметры: *размеры буферов* (верёвок) запуска и контроля, которые устанавливаются заранее для каждой конкретной номенклатурной позиции. Назначение и корректировка размеров буферов выполняется на основании анализа данных о фактических временах производственных циклов

при помощи типовых инструментов **DBM**. Задача управления: *обеспечение своевременного поступления деталей на комплектацию*.

Предварительные даты запуска определяются обратным планированием от предполагаемой даты выдачи соответствующего комплекта деталей на сборку. При этом по каждой партии ДСЕ формируется отдельный сопроводительный документ с уникальным номером (маршрутный лист, см. пример на рис. 5) и штрих-кодом для последующей однозначной идентификации на переделах.

Важно отметить, что полученные описанным выше способом графики запуска являются предварительными. Их главная задача – зафиксировать сроки, к которым необходимо будет обеспечить производство соответствующими материалами и полуфабрикатами. Это информация для отделов снабжения. Фактический же запуск может происходить позднее, – в соответствии с данными регулярного мониторинга текущей загрузки потоков.

Как указано выше, состояние потоков в промежутке между двумя главными точками управления анализируется по схеме «раннего предупреждения» (светофора) на основе данных фиксации движения потоков в дополнительных точках учёта, например, при переходах между цехами или участками. При этом по каждому из выпускающих участков регулярно формируются отчёты по пробоям «красной зоны» временного буфера (то есть когда с момента запланированного запуска позиции прошло уже более 2/3 буферного времени,

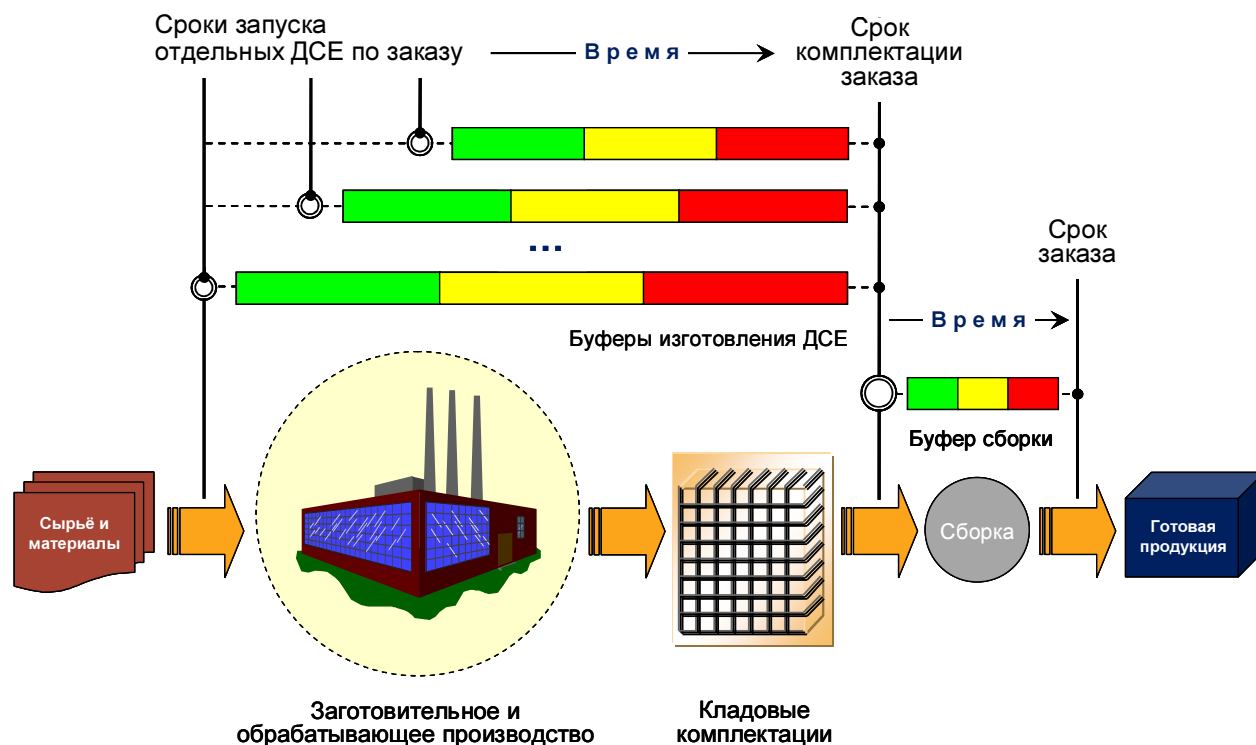


Рис. 3. Схема управления типовыми потоками «по заказу».

но соответствующая партия ДСЕ ещё не поступила на комплектацию). Действует правило: «пока заказчик не подтвердил получение, данная партия ДСЕ числится за поставщиком (предыдущим по маршруту переделом)».

Механизмы управления потоками «по уровню»

Перевод на схему управления «по уровню» может быть целесообразен для следующих категорий ДСЕ, изготавливаемых в механообрабатывающих подразделениях:

- поступающих в кладовые комплектации нескольких сборочных отделений;
- применяемых в большой номенклатуре конечных изделий, регулярно изготавливаемых предприятием;
- применяемых в серийной продукции;
- технология изготовления которых предусматривает использование групповых заготовок;
- нормалей и простых в изготовлении ДСЕ со сравнительно короткими производственными циклами;
- сложных ДСЕ с достаточно длительными производственными циклами, превышающими стандартные сроки выполнения заказа.

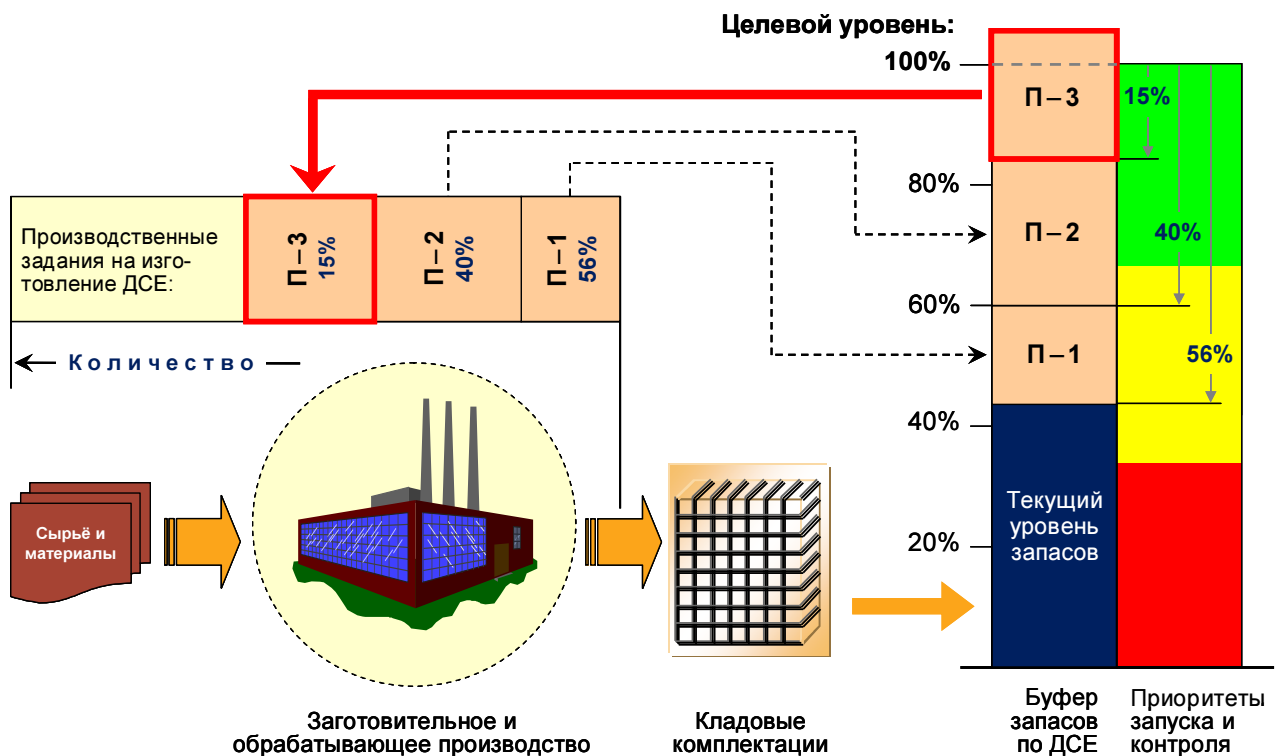


Рис. 4. Схема управления типовыми потоками «по уровню».

В отличие от управления «по заказу», для потоков второго класса в качестве источников формирования потребностей выступают не внешние (клиентские) заказы на конечную продукцию завода, а само производство. В данном случае используется схема МТА, в которой ведётся учёт соответствующих ДСЕ не только в кладовых комплектации, но и в незавершённом производстве, – что предпочтительнее по сравнению, например, с методом «точки перезаказа» (Order-Point Control), работающим исключительно по данным о складских запасах. Исходные параметры: целевой уровень и стандартный размер партии. Задача управления: обеспечение постоянного наличия на сборке деталей установленной номенклатуры.

Целевой уровень (буфер запасов) – это величина, измеряемая в натуральных единицах и формируемая на основании данных о фактическом потреблении конкретной позиции на сборке. В том случае, когда общее количество ДСЕ, находящихся в свободном запасе (в кладовых комплектации) и на разных стадиях производственного процесса, оказывается ниже установленного для данной позиции целевого уровня, автоматически создаются «внутренние» заказы на изготовление очередной партии в количестве, перекрывающем

IS Production
№: Mark: _____

Инженер по орг.пр.-ва _____

№: версия ИЛ: _____

МАРШРУТНЫЙ ЛИСТ № 1156880 от 11.02.2014

Формат ЭО ППК 00

Скуп. Место

№: 2155880

Выдана: ТМ568.С02110-1 Клапан подпорный Деталь: 51П8.2101-108 Крышка

Дата выпуска: 10.02.2014 Срок сдачи: 24.02.2014 Назначение: Предельная карта-заказ: (Маршрутный лист)

№: телефон: ИЦКР.02141.11155 ГП-200

Данные о материале

Материал	Обозначение	Профиль, размер, класс	Сертификат №: дата	Примечание
По телефону	Крут В1-25 ГОСТ 2590-2004 / 40 X-2-ТО ГОСТ 4543-71			
Фактически				

Протокол контроля № _____ от _____ №: кланки (при наличии) _____

Заполнил кладовщик участка 14 (цеха П) _____ Проверил БТК участка 14 (цеха П) _____

Данные деталей по операциям

№: Цепочка	№: операция	Наименование операции	Табл. №:	Вид источника	Пришло к исполнению				Выполнено		Отметки о приеме				
					Наименование	Дата	Полученная информация	Полученная информация	Дата	Полученная информация	Годик	Блок	Данные в инвентаризации	Факт	Подпись
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
14.7	005	ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ (мотороллер)													
14.7	010	ЗАГОТОВИТЕЛЬНАЯ - 8242													
404 / 12	015	ТОКАРНАЯ - 250 ИТВ													
404 / 12	020	ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ (руч. тележка)													
404 / 12	025	ПРОМЫВКА													

11.02.2014 8:58:06 ЗИТС: ПБ40412*207*08.14 Маршрутный лист № 1156880 Потребитель: 16 Стр. 1
Деталь: 51П8.2101-108

Рис. 5. Пример маршрутного листа КЭМЗ с промежуточными отметками о прохождении по производственным переделам.

образующийся дефицит и кратном *стандартному размеру партии* (который, в свою очередь, определяется исходя из технологических, экономических или иных соображений).

Применяются следующие правила планирования, учёта и контроля (см. иллюстрацию на рис. 4):

- создание «внутренних» заказов (производственных заданий) происходит на основе обобщения данных о наличии соответствующих ДСЕ по всем этапам обработки, включая кладовые комплектации, незавершённое производство и сформированные ранее (но ещё не запущенные в производство задания);
- фактический запуск в производство конкретного «внутреннего» заказа осуществляется по достижении этим заказом определенного значения приоритета;
- приоритет каждого «внутреннего» заказа (как запущенного, та и не запущенного в производство) изменяется динамически, – не на основе заранее прогнозируемых сроков сдачи (как для потоков с управлением «по заказу»), а исходя из анализа текущего состояния производства и наличия свободных запасов в кладовых комплектации;

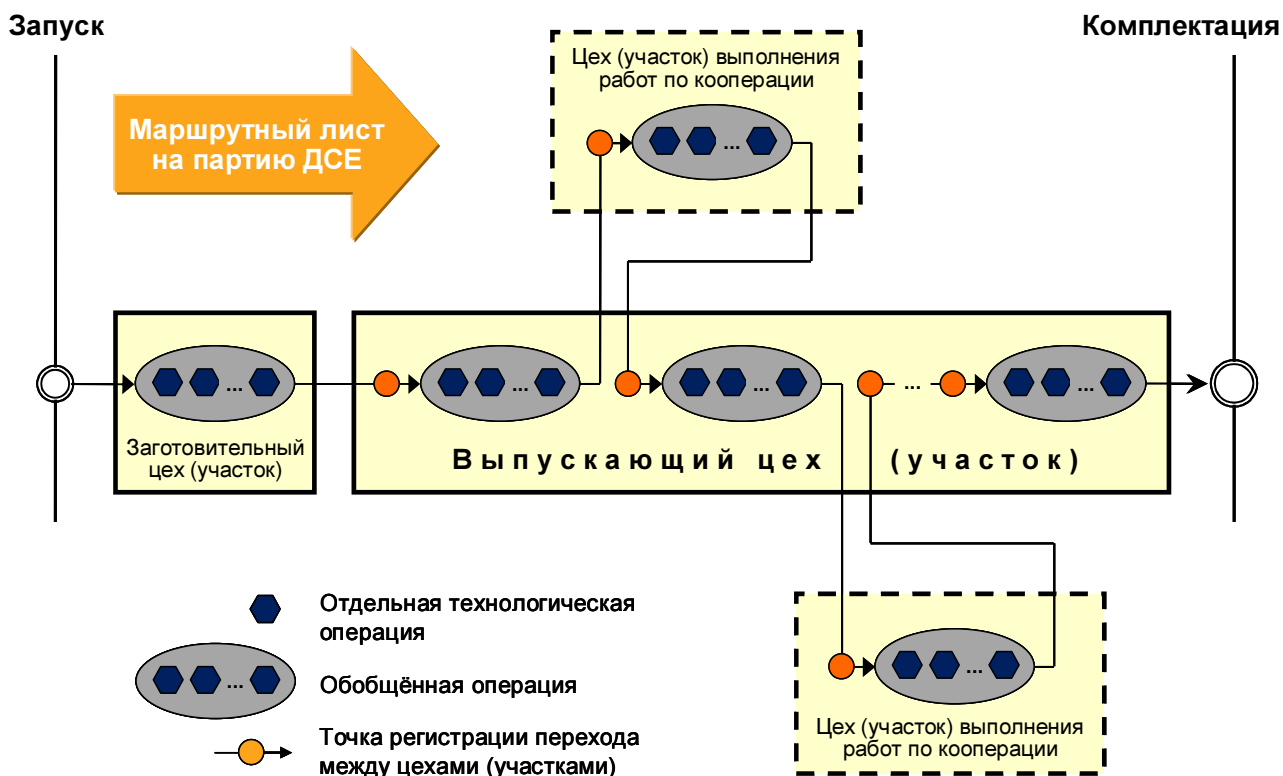


Рис. 6. Схема организации учёта движения материальных потоков по производственным переделам.

- целевые уровни периодически корректируются по данным о реальном потреблении соответствующих ДСЕ на сборке за определённый период времени.

Учёт движения потоков с управлением «по уровню» осуществляется так же, как и для потоков первого класса (по данным сканирования штрих-кодов на маршрутных листах, см. рис. 5): укрупнено в точках запуска и поступления на комплектацию и, при необходимости, более детально – в промежуточных пунктах маршрута, соответствующих переходам между производственными переделами (см. рис. 6).

В качестве механизма «раннего предупреждения» о возникновении ситуаций, которые в будущем могут привести к отсутствию в кладовых комплектации отдельных позиций ДСЕ и, следовательно, к срыву всего графика работы сборки, также применяются инструменты контроля **DBM**. Однако в отличие от потоков с управлением «по заказу», в данном случае анализируются пробои «красной зоны» буфера запасов (то есть позиции, по которым размер свободных запасов в кладовых комплектации опускается ниже отметки в $1/3$ от соответствующего целевого уровня).

Показатели результативности

Организация материальных и информационных потоков в соответствии с описанными выше схемами и алгоритмами служит необходимым условием эффективной работы предприятия. Однако такое условие не является достаточным; не менее важным представляется и набор показателей результативности, по которым производится оценка исполнителей на всех уровнях управления. Например, хорошо известно, что широко применяемые в российском машиностроении критерии максимальной загрузки оборудования и сдельная оплата труда имеют ряд серьёзных недостатков. В частности, их использование приводит к активизации внутри производственной системы мощных усиливающих контуров обратных связей, раскручивающих спираль ухудшения ситуации по всем направлениям, характеризующим доходность бизнеса компании. В самом общем виде, при этом реализуется следующая логическая цепочка:

- цель производственной системы (ПС) – удовлетворение интересов её участников;
- основные участники ПС – владельцы, клиенты, работники;
- интересы владельцев ПС – финансовый результат; интересы клиентов – своевременное получение качественной продукции по приемлемым ценам; материальные интересы работников – достойная оплата труда;

- когда работников оценивают не по конечным результатам (финансовым показателям предприятия, степени удовлетворённости клиентов и т.п.), то интересы участников ПС оказываются не согласованными.

Обычно задача разработки показателей результативности решается путём так называемой «декомпозиции» целей сверху вниз по иерархической структуре предприятия вплоть до формирования KPI (Key Performance Indicators) для отдельных работников. Фактически речь идёт о том, что цели каждого подразделения пытаются представить в виде суммы целей входящих в него элементов более низкого уровня. К сожалению, доходность бизнеса является эмерджентным (а не аддитивным) свойством производственной системы и в принципе не образуется путём сложения локальных показателей.

Для согласования интересов основных участников производственной системы в качестве альтернативного подхода предлагается взять за основу оценку работ по командным результатам и применять два показателя ТОС: **TVD** (*Throughput-Value-Days*, дни задержки заказов) и **IVD** (*Inventory-Value-Days*, дни движения запасов). Первый хорошо подходит для потоков с управлением «по заказу» и предметно-замкнутых выпускающих подразделений, второй – для потоков с управлением «по уровню» и подразделений, преимущественно выполняющих работы по кооперации.

Что сделано и что ещё впереди?

По состоянию на начало 2014 года часть из описанных выше концепций и подходов к созданию системы управления КЭМЗ в той или иной мере реализована, часть находится на стадии тестирования, часть только готовится к практическому применению.

Система материальных потоков завода и соответствующая организационная структура предприятия за последние годы прошли через серию кардинальных изменений, направленных на построение и развитие синхронизированного производства, и сегодня можно с уверенностью говорить о создании надёжной основы для дальнейшего совершенствования.

Информационная система КЭМЗ охватывает все бизнес-процессы управления производством, доведена до конкретных регламентов и рабочих инструкций и поддерживается набором специальных технических решений. В частности, разработанное программное обеспечение позволяет выполнять полный цикл сопровождения материальных потоков, начиная от регистрации поступления внешних заказов до отгрузки конечных изделий со склада готовой продукции (см. рис. 7). Централизованно создаются и корректируются: план продаж,

главный план производства, графики запуска и комплектации. Автоматически выдаются команды на формирование и запуск производственных заданий. Движения потоков внутри обрабатывающих и сборочных подразделений отслеживаются путём сканирования соответствующих штрих-кодов на сопроводительных документах (маршрутных листах, для сборки – ведомостях комплектации). На основании данных регистрации по всей производственной цепочке оперативно рассчитываются и уточняются текущие потребности. На уровне локального управления используются традиционные и тестируются новые инструменты выписки, учёта и анализа наряд-заданий работникам, онлайн-комплектации и некоторые другие. В общей сложности развёрнуто более 200 АРМов информационной системы в 22-х подразделениях завода.

В настоящее время ведутся работы по коренной модернизации действующего программного обеспечения с целью наиболее эффективного использования возможностей современных информационных технологий (64-х разрядная архитектура, новейшие версии СУБД и операционных систем, графические интерфейсы и мобильные приложения).

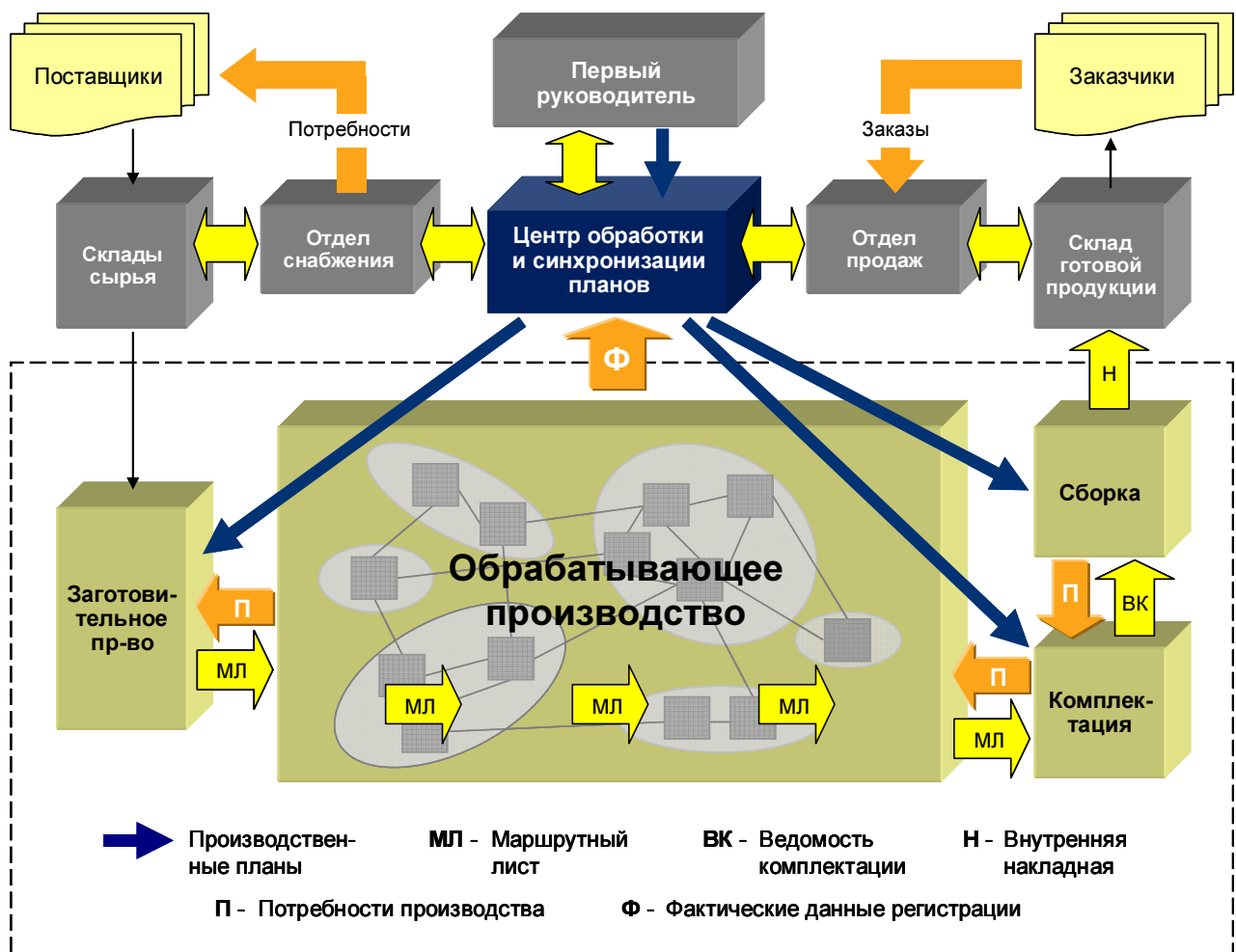


Рис. 7. Функциональная схема реализации информационной системы.

Заключительные замечания*

Представляется, что описанные в статье и апробированные на КЭМЗ подходы к созданию системы управления промышленным предприятием являются достаточно универсальными и могут быть применимы в широкой предметной области, обладающей следующими типовыми характеристиками.

➤ *Особенности производства:*

- дискретное, многономенклатурное, позаказное;
- преимущественно мелкосерийное с большим числом технологических переделов;
- смешанная стратегия позиционирования продукции («производство на заказ» / «сборка на заказ»).

➤ *Логистическая модель:*

- вытягивающая, «завод типа А»;
- два уровня управления (центральный и локальный);
- синхронизированное производство (принципы ТОС);
- минимальные требования к подготовке технологической базы (только состав изделий / наличие «расцеховок»).

* Настоящий текст отличается от журнального варианта статьи незначительными редакционными правками. Кроме того, в нём исходные чёрно-белые рисунки модифицированы и заменены на цветные, а также добавлены «заключительные замечания».