

Управление процессом изготовления в условиях многономенклатурного единичного и мелкосерийного производства изделий

Ю.А. Балясов,
вед. инж.-прогр., ubalyasov@mail.ru,
КБ «Арматура», г. Ковров

Работа посвящена организации, анализу и представлению данных о состоянии производственных процессов машиностроительного предприятия в условиях мелкосерийного и единичного производства с целью их мониторинга и принятия управленческих решений. В статье намечен подход к созданию системы информационного сопровождения таких процессов; выявлены этапы формирования информации, характеризующей подготовку производственного заказа к запуску; обозначены контрольные точки, в которых целесообразно проводить замеры состояния изготовления; предложены показатели, на базе которых может быть построена система мониторинга за выполнением заказа. Отдельное внимание уделено методике оперативно-производственного планирования на основе сетевых графиков, а также преимуществам OLAP-технологий для предоставления руководителям всех уровней точной и объемной картины хода производства

The scope of the article is the organization, analysis and representation of the production processes data at the machine-building enterprise in single-part and short-run environment in order to increase the decision-making effectiveness. This goal implies the organization of a production processes information system through the determination of the workflow strategic points that are appropriate to make snapshots in, and the setting of Key Performance Indicators for supervising. Special attention has been paid to the day-to-day production planning method, and to the advantages of Online Analytical Processing for accurate and complete reporting to the management at all levels.

Введение

Налаженная система управления производством составляет основу эффективной работы любого современного промышленного предприятия, а особенно – предприятий с единичным и мелкосерийным производством, для которых характерны разнообразие номенклатуры выпускаемой продукции, ее частая сменяемость, сжатые сроки изготовления. В подобных условиях отсутствие оперативной информации о ходе производства ведет к затягиванию производственного цикла и срыву сроков выполнения заказа [1]. При этом представленные на рынке программные средства, предназначенные для промышленного мониторинга, как правило, не учитывают специфику единичного и мелкосерийного производства и имеют ограниченную функциональность, не позволяющую решать более широкий круг производственных задач.

Настоящая работа имеет целью наметить основные подходы к созданию системы мониторинга за состоянием изготовления изделий, адаптированной к условиям многономенклатурного мелкосерийного производства и позволяющей на единой методологической и информационной основе предоставлять данные о ходе производства, способствовать принятию управленческих решений и сокращению длительности производственного цикла.

Для достижения поставленной цели предполагается:

1. Разработать систему показателей состояния изготовления заказа в установленных контрольных точках.
2. Определить ключевые показатели эффективности, используемые для оценки производственной деятельности.
3. Предложить метод организации, анализа и представления данных о состоянии изготовления для оперативного мониторинга производственных процессов.

Разработанная методика представлена на примере опытного завода КБ «Арматура» - филиала ГКНПЦ им. М. В. Хруничева (г. Ковров), где она проходит опытную эксплуатацию.

1. Общие положения

Реализация мониторинга за состоянием изготовления продукции предполагает организацию на предприятии информационного сопровождения хода производства, которое представляет собой сбор и визуализацию в режиме реального времени данных, появляющихся на всех стадиях жизненного цикла продукции [2].

Основными принципами построения эффективных информационных систем (ИС) являются [3]:

1. Принцип интеграции, согласно которому обрабатываемые данные, однажды введенные в ИС, многократно используются для решения большого числа задач.
2. Принцип системности, суть которого состоит в разносторонней обработке данных для получения информации, необходимой при принятии решений на всех уровнях управления.
3. Принцип комплексности, который заключается в автоматизации процедур преобразования данных на всех этапах функционирования ИС.
4. Принцип оперативности, согласно которому информация о свершившемся факте должна попадать в ИС с минимальным запозданием.

Из этих принципов вытекает важнейший методический вывод: при разработке информационного сопровождения следует стремиться к тому, чтобы информация, необходимая для мониторинга, попадала в ИС по факту выполнения стандартных рабочих функций. Для ее появления не должны быть задействованы специальные усилия и дополнительные кадровые ресурсы; она должна возникать именно в той точке, где имел место факт производства, и силами именно того исполнителя, который фиксировал этот факт согласно внутренним стандартам предприятия до внедрения ИС. В дальнейшем будет показано, как эта методика может быть реализована на практике.

2. Ключевые показатели эффективности

Для того чтобы помочь руководителю сориентироваться в большом объеме информации, характеризующей состояние производства, широко применяется система ключевых показателей эффективности (КПЭ, англ. Key Performance Indicators, KPI). Под таковой понимается система показателей, выраженных, как правило, в числовой форме и влияющих на количественное или качественное изменение результатов относительно стратегической цели. Существуют общие рекомендации к разработке системы КПЭ, однако ее реализация зависит от специфики конкретного производства [4].

На предприятиях с позаказной системой планирования очевидным критерием оценки производственной деятельности является соответствие хода изготовления изделия определенным срокам. Среди таких сроков можно выделить:

1. Плановые сроки выполнения заказа, назначенные планово-экономическим отделом.
2. Расчётные сроки промежуточных этапов изготовления изделия, вычисленные на основе плановых сроков и трудоёмкости операций технологического процесса;
3. Директивные сроки, назначенные руководством для отдельных деталей и сборочных единиц (ДСЕ).

Еще один показатель, влияющий на сроки выполнения плана – это объем производства, выраженный в количестве партий или в норма-часах. К его разновидностям относятся:

1. Остаточный объем: количество партий (норма-часов), оставшихся до завершения группы заказов, включенных в план анализируемого периода; используется для оценки объема предстоящих работ.
2. Остаточный необметалленный объем: количество партий (норма-часов) по группе заказов, включенных в план периода и не обеспеченных на текущий момент материальными ресурсами; используется для выявления партий, не достигших основного производственного участка.
3. Фактический объем за период: количество партий (норма-часов), изготовленных в текущем плановом периоде; используется для анализа объемов текущего планового периода, а также ритмичности выполнения.

Помимо объемов, выраженных в абсолютных значениях, при оценке применяется показатель загрузки отдельного производственного подразделения, определяемый как отношение выраженного в часах остаточного объема позиций заказа, закрепленных за этим подразделением, к потенциальной выработке, которую оно может обеспечить за отчетный период.

3. Формирование информации на основных стадиях жизненного цикла

Обозначив приоритетные КПЭ, выделим этапы формирования информации, необходимой для расчета плановых показателей, и рассмотрим ключевые точки, в которых производится замеры фактических значений, подлежащих мониторингу. В общем виде эти этапы представлены на рисунке 1.

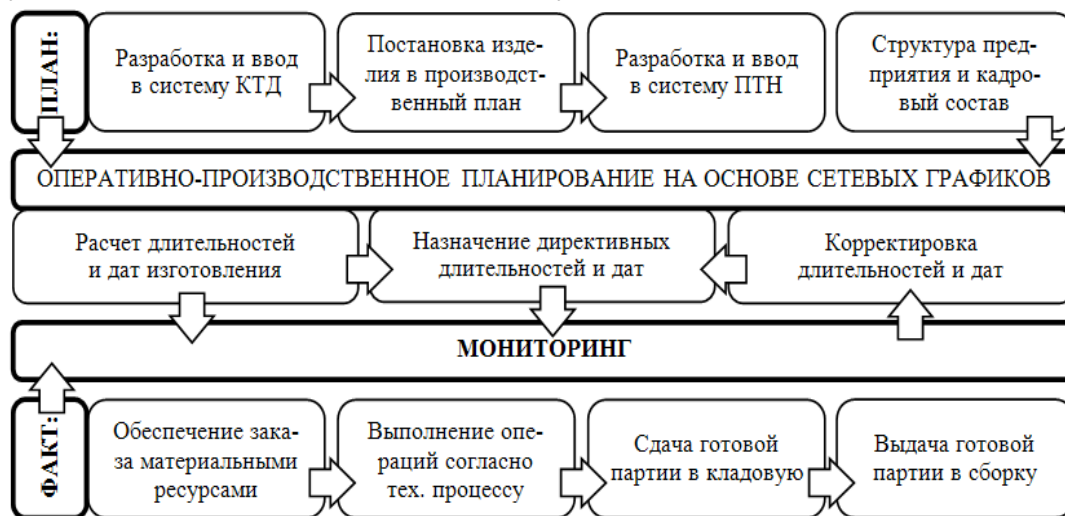


рис. 1. Схема информационного сопровождения хода производства

На начальном этапе в ИС поступает исходная (плановая) информация о заказе, которая впоследствии составит основу оперативно-производственного планирования. Фактическая информация о состоянии изготовления фиксируется в течение жизненного цикла изделия и, соотнесенная с планом, служит целям мониторинга, по результатам которого, в свою очередь, производится корректировка производственного плана.

Изготовлению изделия предшествует выполнение следующих работ:

1. Разработка и ввод в систему конструкторско-технологической спецификации (КТС). На этом шаге конструкторский отдел разрабатывает конструкторскую документацию (КД) и передает ее в отдел главного технолога, где КД дополняется информацией о составе заказа, маршрутах прохождения ДСЕ, размерах единичной заготовки, материалах, материальных нормативах, дополнительных технологических требованиях и количестве технологических образцов-свидетелей. Кроме того, на данном этапе производится расчет размера и количества групповых заготовок, а также количества материальных ресурсов. На основании этой информации формируется ведомость материалов (ВМ) – основной документ для запуска изделия в производство, в том числе определяющий потребность на материальные ресурсы для очередного заказа.
2. Постановка нового изделия в производственный план. На этом шаге работник планово-экономического отдела назначает плановый срок выполнения заказа, который становится точкой отсчета для вычисления сроков прохождения изделием различных этапов (обметалливания, механообработки, сборки и испытаний).

3. Разработка и ввод в систему пооперационных трудовых нормативов (ПТН). Работники отдела главного технолога разрабатывают маршрутные технологические процессы (МТП), для которых отдел организации труда и заработной платы назначает ПТН. На данном шаге появляется информация о трудоемкости выполнения заказа, на основании которой можно рассчитать сроки изготовления деталей с учетом вхождения в сборки и построить сетевой график.
4. Поддержание в актуальном состоянии базы данных, отражающей структуру предприятия и кадровый состав. Эта информация позволяет оценивать загрузку производственных подразделений.

Ввод информации в систему на данных этапах следует автоматизировать; рекомендуется предлагать пользователю пополняемые на основе старых заказов электронные справочники стандартных ДСЕ, материалов, технологических операций и оборудования, типовых технологических процессов; реализовать программный расчет численных показателей, таких как размер и количество групповых заготовок, количество материальных ресурсов.

Информация, появляющаяся на описанных выше стадиях подготовки заказа к запуску, позволяет рассчитать сроки изготовления позиций заказа с учетом вхождения в сборки и построить на их основе сетевой график, который ляжет в основу оперативно-производственного планирования. В данном процессе можно выделить несколько основных этапов.

1. Расчёт календарной длительности изготовления партии, которая складывается из машинного времени изготовления, длительности ненормируемых операций МТП и времени межоперационного пролеживания. Длительность ненормируемых операций определяется по итогам анализа затрат, исходя из процентного отношения согласно калькуляции себестоимости продукции. В основе вычисления межоперационного пролеживания также лежит анализ статистики.
2. Корректировка длительности при условии сжатых сроков изготовления. Получившаяся в результате расчета календарная длительность партии анализируется в ракурсе схемы сборки. В зависимости от того, какие детали должны быть изготовлены к началу определенных операций сборочного процесса, по согласованию с руководством сборочного цеха и испытательной станции производится корректировка расчетной длительности. Для того чтобы сделать возможным сокращение сроков изготовления, привлекаются такие дополнительные ресурсы, как увеличение числа рабочих мест, многосменный режим работы, работа в сверхурочное время. Информация о каждой корректировке сроков изготовления, имеющей место на этом или последующем этапах, сохраняется в электронном виде.
3. Определение расчётных дат изготовления. На основании рассчитанных длительностей определяются расчетные даты основных этапов производственного цикла: обметалливания, комплектации, начала сборочных работ, начала испытаний. Существуют две методики определения сроков: прямая (соответствует «выталкивающему» механизму управления производством), при которой даты откладываются от предполагаемого начала изготовления, и обратная («вытягивающая»), при которой даты рассчитываются исходя из сроков его окончания. Прямая методика задействуется на этапе составления договора и обоснования сроков поставки заказа; обратная применяется для расчета сроков запуска в производство. В результате применения второй методики расчетная дата начала изготовления может оказаться меньше текущей. В этом случае длительность изготовления корректируется в сторону сжатия согласно принципам, изложенным в п. 2.
4. Корректировка дат в процессе изготовления. В процессе изготовления руководство предприятия готовится к оперативно-производственным совещаниям, анализируя с помощью системы отчетов информацию об отставании хода производства отдельных позиций заказа от расчетных сроков. На основании этой информации принимаются управленческие решения по «расшивке» узких мест. Если проблемные позиции не лежат на критическом пути, то сроки по ним переносятся вправо, в противном случае происходит корректировка длительности за счет привлечения дополнительных ресурсов. Эта корректировка оформляется в виде предложений со стороны линейных руководителей, которые назначают даты для отстающих позиций. Руководители высшего ранга анализируют эти предложения и подтверждают их или назначают собственные директивные даты. При этом руководству доступна информация о ходе изготовления проблемной позиции на протяжении всего производственного цикла, от ее обеспечения материальными ресурсами до выполнения основных операций МТП. Данная информация позволяет сделать вывод о причинах отставания.

Фактическая информация, отражающая ход изготовления, появляется в процессе производства и также может быть разделена на отдельные этапы. Факт прохождения очередного этапа будет использоваться в процессе мониторинга.

1. Обеспечение позиций заказа материальными ресурсами [5][6].

Ключевыми точками на данном этапе являются:

- Электронная рассылка позиций, входящих в состав запущенного изделия, из планово-диспетчерского отдела на заготовительный участок (ЗУ), а оттуда – в отдел материально-технического снабжения (ОМТС). Цель рассылки – оповещение ответственных служб о необходимости подбора материальных ресурсов. В то же время, зафиксированные в системе данные о факте оповещения используются в процессе мониторинга.
- Создание работником ОМТС электронного требования, которое служит основанием для выдачи материала со склада. На этом шаге реализуется одна из основных функций ОМТС, и вместе с тем сопутствующая информация (факт бронирования материала под определенную позицию заказа, номер электронного документа, информация о замене профиля и т.д.), используется при мониторинге
- Электронная рассылка позиций, обеспеченных материальными ресурсами, в отдел технического контроля (ОТК), работник которого подтверждает соответствие требуемого и предложенного материала, привлекая при необходимости специалистов конструкторских и технологических служб.
- Формирование электронного запроса на выдачу забронированных материалов со склада на основании требований, собранных в электронную заявку, и формирование электронной отпускной партии, согласно которой производится выдача. Обмен электронной документацией, с одной стороны, облегчает взаимодействие между ОМТС и ЗУ, делая их действия взаимно прозрачными, а с другой – фиксирует факт прохождения изделия очередной контрольной точки производственного процесса. Вместе с получением материалов со склада работник ЗУ распечатывает сопроводительную документацию (сопроводительный паспорт), которая до этого момента существовала только в электронном виде. Большинство полей этого документа заполняются автоматически согласно данным, введенным в систему на предыдущих этапах;

- Получение материала и его выдача в работу;
 - Передача заготовок на участки (термический, гальванический) при каждом цехозаходе, осуществляемая на основании электронного рапорта-накладной.
2. *Выполнение механообрабатывающих операций МТП.*
 На стадии механообработки можно выделить следующие ключевые точки [6]:
- Формирование сменно-суточного задания, в ходе которого мастер МСУ распределяет операции поступившего на участок МТП между рабочими. Распределитель работ, используя данные о кадровом составе и фактическом присутствии рабочих на предприятии, фиксирует в электронном виде исполнителя каждой операции, а также время начала и окончания работы. Основная цель данного шага и залог его неукоснительного выполнения состоит в том, что ежемесячно на основании введенных в систему данных происходит расчет и начисление заработной платы основных производственных рабочих. В то же время информация, появляющаяся в процессе, является исходной для оперативного производственного учета и играет важную роль в мониторинге: фиксирует продвижение изделия по этапам производственного цикла и, будучи сопоставлена с расчетными сроками выполнения позиций заказа и отдельных операций, способствует выявлению отстающих позиций заказа.
 - Передача изготовленной партии ДСЕ согласно МТП в ОТК, работники которого регистрируют в электронном виде факт получения партии, результат производственного контроля, в случае возврата на доработку – информацию о его причинах и виновниках в виде листа замечаний. Достоверность и полнота информации, возникающей на этом шаге, обеспечивается тем фактом, что введенные контролером данные являются основанием для ежемесячного начисления премии рабочему. Вместе с тем, благодаря полученной информации, пункт ОТК становится очередной контрольной точкой, необходимой для пооперационного учета состояния изготовления изделия.
3. *Очередная контрольная точка в производственном цикле изделия* – это сдача готовой продукции в комплектуючную кладовую, осуществляемая участком после проверки ОТК [7]. Для каждой сданной партии работник кладовой вводит в систему количество составляющих партию ДСЕ и адрес хранения (номер стеллажа и полки). Основной документ, сопровождающий партию на этом шаге, – приемо-сдаточная накладная, входящая в состав сопроводительного паспорта. Для идентификации партии используется штрих-код.
4. *Работник кладовой, формируя отчет в автоматизированном режиме*, ежедневно отслеживает состояние поступивших позиций, необходимых для комплектации сборочных единиц из текущего горизонта планирования, а также наличие готовых под комплектацию сборочных единиц. При появлении информации об укомплектовании очередной сборки формируется сопроводительный паспорт, куда автоматически попадают введенные ранее адреса хранения комплектующих единиц. В отдельных случаях по указанию руководства осуществляется подбор деталей, сданных по другим заказам. Например, при комплектации сборки А1 вместо комплектующей единицы а1, не сданной по какой-либо причине в срок, может быть использована аналогичная комплектующая единица а2 из сборки А2; тогда при будущей комплектации А2 вместо недостающей детали а2 будет программным путем предложено использовать деталь а1. На этом шаге происходит автоматическое списание остатков ДСЕ и появляется информация о необходимости восполнения недостающих деталей, подлежащая мониторингу.

4. Мониторинг

В результате описанных выше процессов в информационной системе аккумулируются, с одной стороны, плановые сроки основных промежуточных этапов изготовления позиций заказа, а с другой – факт прохождения изделия через эти этапы в процессе производства. Аналитическое сопоставление данных из этих массивов служит базой для принятия управленческих решений о «расшивке» узких мест, а также может быть использовано при составлении производственного плана.

В современной практике для решения задачи анализа параметрической информации с целью поддержки процессов принятия решений хорошо зарекомендовала себя концепция аналитической обработки в режиме реального времени (OLAP), в основу которой положен принцип представления данных в виде многомерной матрицы (гиперкуба) [8]. Применение этой концепции целесообразно и в тех случаях, когда анализируемой предметной областью является промышленное производство. В соответствии с изложенной выше моделью в качестве осей гиперкуба используются следующие параметры.

- **Время.** Интерес для анализа могут представлять агрегированные данные за отдельные периоды – неделю, месяц, квартал, год. Будущие сроки используются с целью планирования работ, текущие – для оценки отставания.
- **Уровни управления.** Мониторинг за ходом производства – задача руководителей разного ранга, в ведении которых находятся участки производства, производственные подразделения или всё предприятие. Руководитель, выбрав соответствующий уровень управления, получает сводку показателей, характеризующих состояние работ в подведомственной ему структурной единице.
- **Позиции заказа.** Мониторингу подлежат как отдельные позиции заказа, так и сами заказы, в том числе объединенные по темам.
- **Оборудование.** Загрузка оборудования по операциям МТП позволяет определить пропускную способность структурной единицы предприятия за выбранный период в разрезе позиций заказа. Основанием для оценки служит показатель «мощности», представляющий собой производственные возможности структурных единиц (с учетом индивидуальной выработки ПТН), пересчитываемые ежедневно на срок, оставшийся до конца отчетного периода.

На пересечении этих измерений расположены описанные выше ключевые показатели эффективности, характеризующие объем производства: норма-часы или выраженные в количественном отношении объемы партий.

Кроме того, в процессе мониторинга используются режимы фильтрации данных, позволяющие сужать номенклатуру и оценивать объем, например, только позиций заказа, не обеспеченных металлом или не сданных в КК. Особый интерес представляет трудоемкость позиций, отстающих от плановых сроков изготовления; их выбор также должен быть доступен в отдельном режиме. Другая актуальная подзадача мониторинга – анализ позиций заказа «под сбор-

ку», т.е. либо готовых к сдаче в КК (в таких позициях отсутствуют остаточные нормо-часы), либо близких к завершению (остаточная трудоемкость составляет меньше 1% от плановой трудоемкости).

Инструменты OLAP предоставляют пользователю широкие возможности для конструирования отчетов на основе различных сочетаний параметров и фильтров. Между тем, целесообразно закрепить наиболее востребованные стратегии анализа в серии готовых отчетов, имеющих более сложную структуру, чем просто факты и агрегаты данных на пересечении осей измерений. Дополненные подробной информацией о состоянии обметалливания, механообработки, о результатах технического контроля, такие отчеты предоставляют руководству более точную и объемную картину хода производства – гибко организованный аналитический материал для принятия решений в режиме реального времени.

Заключение

В настоящей работе предложен метод информационного сопровождения и мониторинга производственных процессов, адаптированный к условиям многономенклатурного мелкосерийного производства и позволяющий:

1. Систематизировать и анализировать информацию о состоянии выполнения заказов.
2. В режиме реального времени замерять в контрольных точках значения показателей выполнения заказа.
3. Управлять производственным процессом на любом уровне, от мастера смены до директора предприятия.
4. Оценивать плановую загрузку производственных мощностей.

Описанные в данной работе алгоритмы организации производственных процессов внедрены в КБ «Арматура» – филиале ФГУП ГКНПЦ им. М. В. Хруничева (г. Ковров); процедуры оперативно-производственного планирования и мониторинга в настоящее время проходят опытную апробацию. В результате частичного внедрения методики удалось за счёт снижения межоперационного пролеживания достичь сокращения длительности производственного цикла; наблюдается тенденция к дальнейшему снижению этого показателя.

Результаты работы могут быть использованы на предприятиях с высокой долей заказов опытно-конструкторского назначения, в составе которых ведется изготовление опытных образцов продукции (по типу конструкторского бюро с опытным заводом).

Литература

1. Рассолов Т.В., Фаткин А.А., Рулева Т.В. Управление процессом сокращения длительности производственного цикла. – Стандарты и качество, 2013, № 2.
2. Милаев В.А., Фаткин А.А., Рулева Т.В. Автоматизация управления в условиях многономенклатурного мелкосерийного производства. // PC Week / RE, 2001, № 10, 11.
3. Голицына О.Л., Максимов Н.В. Информационные системы / Московская финансово-промышленная академия. – М.: 2004.
4. Панов М.М. Оценка деятельности и система управления компанией на основе KPI. – М.: Инфра-М, 2013.
5. Балясов Ю.А. Организация работ по обеспечению механосборочного цеха материальными ресурсами при позаказной системе планирования. // XL Академические чтения памяти академика С.П. Королева: сборник тезисов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015.
6. Рассолов Т.В., Фаткин А.А., Рулева Т.В., Балясов Ю.А. Организация бизнес-процесса и переход к электронному документообороту на этапе обеспечения заказа материальными ресурсами // Труды XXXVI академических чтений по космонавтике. Москва, январь 2012 г. – М: Комиссии РАН по разработке научного наследия пионеров освоения космического пространства, 2012.
7. Балясов Ю.А. Управление комплектацией заказов в условиях многономенклатурного единичного и мелкосерийного производства. // XLII академические чтения памяти академика С.П. Королева: сборник тезисов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018.
8. Длин М.И., Стоянова О.В. Технология динамического контроллинга в промышленности // Прикладная информатика. 2006. № 1.