

УДК 681.3.069

**Е. В. Ахунова, Н. Н. Коблов**

*Томский политехнический университет*

## **МЕТОДЫ ГИБКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЕ PLM, MES, ERP**

*Рассматривается метод организации цифрового управления производством на основе единого информационного пространства, реализованного в виде единой системы, состоящей из подсистем PLM, MES, ERP. Описывается метод организации связи между конструкторской документацией и производственным процессом в единой информационной системе, позволяющий производственному контуру оперативно реагировать на изменения в конструкторской документации. Показан автоматизированный метод корректировки плана выпуска изделия, связанный с количественными изменениями в спецификации, позволяющий хранить версии планируемых к запуску в производство составов изделий.*

### **Производственный процесс, приборостроительное предприятие, конструкторская документация, PLM, MES, ERP**

Для обеспечения конкурентоспособности современному промышленному предприятию недостаточно конкурировать только лишь технически, необходимо опережение по графикам поставок и стоимости продукции.

Этому способствует организация цифрового управления производством на основе единого информационного пространства, состоящего из подсистем PLM (Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом изделия), MES (Manufacturing Execution Systems – система управления производственной деятельностью предприятия), ERP (Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия) [1], [2]. Такая организация обеспечивает рост эффективности, производительности, повышение гибкости производства, сокращение сроков вывода изделия на рынок и улучшение контроля над ходом изготовления изделия. Кроме того, ликвидируются ручные операции ввода информации, увеличивается степень автоматизации предприятия и устраняются ошибки, вызываемые человеческим фактором. Рост производительности обеспечивается за счет значительной экономии времени, которая, в свою очередь, складывается из повышения эффективности инженерной подготовки производства и быстрого проведения пусконаладочных работ, сокращения времени при поиске информации, а также улучшения качества, сокращения объемов брака и переделок, возникающих, в частности, из-за не внесенных вовремя изменений. Помимо быстрой отдачи предприятия получают и выгоды в долгосрочной перспективе, поскольку информация фиксируется и становится общедоступной. Как следствие – упраздняются «узкоклановые» знания, сокращается период обучения персонала для быстрого запуска полномасштабного производства новых изделий.

Данные о ходе выполнения работы, внесенные в MES и PLM, обеспечивают полную прослеживаемость процесса изготовления изделия. Детальная история изготовления помогает идентифицировать основные причины ошибок. Данные в разрезе «как это исполнено» в среде PLM помогают сравнить спроектированное изделие и исполненное для выявления отличий и последующих улучшений [3].

Разнообразие систем класса PLM/MES/ERP велико, равно как и их производителей. Очевидно, что для оперативного управления предприятием необходимо единое информационное пространство, реализованное в виде единой системы, состоящей из модулей PLM, MES, ERP. Отсутствие подобных готовых решений подтверждается тем, что как в академических исследованиях, так и в практике российских и зарубежных предприятий актуален вопрос интеграции зачастую разноплатформенных систем в единое информационное пространство путем использования функций API (Application Programming Interface – интерфейс программирования приложений) или через обмен структурированными файлами данных [4]–[6]. Следует отметить, что применение типовых систем, решающих задачи управления производством, в условиях малой серии, позаказном и опытным производстве, характерном для приборостроительных предприятий, не обеспечивает функций, необходимых для организации и планирования производства.

Так, например, отмечено [7], что «типовые системы управления производством, такие как “Лоцман: PLM”, направлены в первую очередь на комплексное решение задач автоматизации машиностроения и лишь отчасти – на приборостроительную отрасль». Это объясняется тем, что такой тип предприятий накладывает дополнительные условия на автоматизированные системы, поскольку для них характерно изготовление сложных комплексов радиоэлектронных систем, имеющих длительные сроки изготовления, высокий уровень вхождения деталей и сборок, а на этапе производства возможно большое количество изменений в конструкторской и технологической документации.

Исходя из вышесказанного рассмотрим метод построения цифрового управления производством приборостроительного предприятия и организации горячей связи между конструкторской документацией и производственным процессом.

**Метод организации цифрового управления производством.** Канонически в едином информационном пространстве первоисточником данных выступает PLM-система, ориентированная на автоматизацию технической подготовки и оперативного управления дискретным производством, оптимизацию производственных процессов и ресурсов, контроль и диспетчеризацию выполнения планов производства с минимизацией затрат. Благодаря автоматизации технической подготовки производства эта система поддерживает всю производственную деятельность предприятия в режиме реального времени. Быстрый, результативный отклик на изменяющиеся условия в комбинации с ориентацией PLM на снижение издержек позволяет эффективно управлять производственными операциями и процессами [8].

MES-система в режиме реального времени документирует производственные процессы от начала формирования заказа до выпуска готовой продукции [2].

При взаимодействии PLM- и MES-систем роль первой заключается в поддержке разработки плана изготовления продукта, а вторая служит исполнительным механизмом, который превращает план в конкретные действия и отслеживает их результаты. Данные PLM и MES служат источниками для ERP.

Основная идея предлагаемого метода состоит в создании единого информационного пространства, реализованного в виде единой системы (рис. 1).

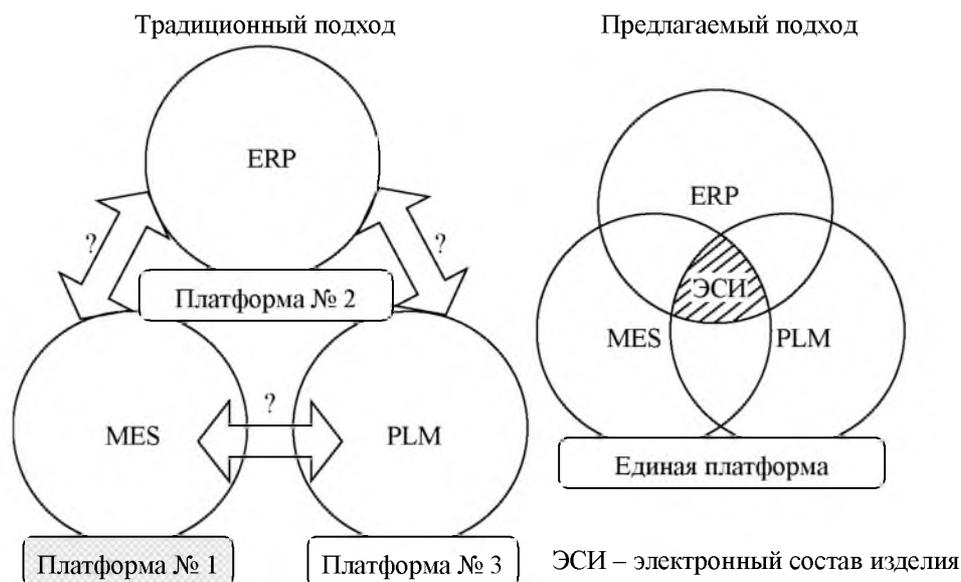


Рис. 1

Объединяющими данными в такой системе должен стать электронный состав изделия (ЭСИ), формируемый в модуле PLM и передаваемый в модули MES и ERP в качестве исходных данных (например, для построения плана выпуска изделия и расчета его себестоимости).

Внедряя готовые отдельные решения PLM, ERP и MES, практически невозможно добиться их полной интеграции между собой, а тем более с уже используемыми на предприятии информационными системами, нередко разработанными самостоятельно.

В лучшем случае передача данных, в том числе и ЭСИ, между системами осуществляется автоматизированно с заданной периодичностью с помощью процедур импорта/экспорта, а в худшем – данные приходится вводить повторно вручную. В результате получаем набор разноплатформенных систем, между которыми отсутствуют естественные потоки инженерных данных об изделии, нет горячей связи между ними.

**Метод организации связи между конструкторской документацией и производственным процессом.** На основании иницилирующего документа (договор, заказ) запуск изделия в производство осуществляется путем создания документа «План выпуска изделия», который содержит дерево состава изделия, полученное автоматически по данным версии ЭСИ, актуальной на дату формирования. Дерево содержит планируемое количество изготавливаемых единиц деталей и сборок, а также рабочие центры, в которых согласно технологическому процессу должны обрабатываться детали (рис. 2). Перечень рабочих центров, в которых планируется осуществлять технологические операции, формируется по данным технологической документации.

При переводе документа «План выпуска изделия» в состояние «Утвержден» происходит фиксация данных в таблицах базы данных в разрезе «Договор», «План выпуска», «Ссылка на конструкторский документ», «Количество», «Подразделение», в котором должны производиться технологические операции. На основании этих данных впоследствии создаются документы «Маршрутный лист», а при диспетчеризации производственного процесса эти данные выступают в качестве плановых.

+	Обозначение	Наименование	Всего	Цех №1	Цех №2
-	АБВГ.469141.011	Фильто НКР	1	1	
-	АБВГ.301242.008	Каркас	1		1
	АБВГ.742212.073	Балка	2		2
	АБВГ.742212.074	Балка малая	2		2
-	АБВГ.301792.005	Панель	1	1	
	АБВГ.741123.977	Панель	2		2
	АБВГ.741129.741	Панель	1		1
		Винт В М3-6х6-48 019 ГОСТ 1491-80	51		

Рис. 2

Таким образом, документ «План выпуска изделия» содержит информацию двух видов: дерево входимости деталей и сборок, запускаемое в производство по плану на фиксированную дату, а также итоговые сводные данные по этому дереву.

**Метод корректировки плана выпуска изделия на основании извещения об изменении.** Суть метода заключается в том, что при подписании извещения об изменении спецификации всеми лицами, участвующими в его утверждении, автоматически проводилась корректировка документа «План выпуска изделия» с возможностью отслеживать историю его изменения.

При проведении изменений в спецификации в системе создается документ «Извещение об изменении», который содержит формализованное представление указания о заделе (табл. 1), а также текст извещения, полученный автоматически.

Таблица 1

Версия документации	Указание о заделе	Партия/изделие
АБВГ.301242.008 версия 01	Задел использовать с доработкой согласно данному извещению	Партия 1234567
АБВГ.301242.008 версия 01	Задел использовать с доработкой согласно данному извещению	Партия 1234568

Имея ссылку в извещении об изменении на вновь создаваемую версию спецификации, определяем предыдущую версию. Сравнивая электронные составы обеих версий, получаем таблицу различий (табл. 2). На основании данных сравнения автоматически получаем текст извещения об изменении [9].

Таблица 2

Обозначение	Наименование	Количество в текущей версии, шт.	Количество в предыдущей версии, шт.	Разница, шт.
АБВГ.742212.073	Балка	4	2	2
АБВГ.742212.074	Балка малая	0	2	-2

Если в реквизите «Указание о заделе» документа «Извещение об изменении» отмечено «Задел использовать», то отыскиваются все планы выпуска изделия в состоянии «В работе», в составе которых есть изменяемая спецификация. При успешном результате поиска автоматически создаются документы «Корректировка плана выпуска» (рис. 3). При этом для каждого найденного плана выпуска изделия создается соответствующий ему документ «Корректировка плана выпуска».

Корректировка плана выпуска: Корректировка плана выпуска КП-2016-000001 от 06.04.2016 11:43:06							
Номер: КП-2016-000001		Дата: 06.04.2016 11:43:06		Автор: Акунова Е.В. Зам. Админ.		Подразделение: Лаборатория № 382	
План выпуска: План выпуска изделия ПВ-2016-000010 от 18.02.2016				Основание: АБВГ.38-16			
Исправление: План выпуска изделия ПВ-2016-000010-И01 от 20.02.2016 10:40:03				Заполнить таблицей данными			
N	Обозначение (код изделия)	Наименование (код изделия)	Предшественники (код изделия)	Обозначение ДСЕ	Наименование ДСЕ	Предшественники (код ДСЕ)	Единица измерения
1	АБВГ.301242.008	Каркас	АБВГ.301242.008 версия 01 АБВГ.301242.008 версия 02	АБВГ.742212.073	Балка	АБВГ.742212.073 версия 00 АБВГ.742212.073 версия 00	2 шт. 4
2	АБВГ.301242.008	Каркас	АБВГ.301242.008 версия 01 АБВГ.301242.008 версия 02	АБВГ.742212.074	Балка малая	АБВГ.742212.074 версия 00 АБВГ.742212.074 версия 00	2 шт.

Рис. 3

При переводе документа «Корректировка плана выпуска» в состояние «Утвержден» происходит копирование корректируемого документа «План выпуска изделия». Номер скорректированного документа «План выпуска изделия» формируется на основании прежнего с добавлением префикса /И [номер исправления], где И означает, что это документ-исправление, а номер исправления представляет собой порядковый номер корректировки в виде двузначного числа. Ссылки на исправляемый план выпуска изделия и исправленный хранятся в реквизитной части документа «Корректировка плана выпуска».

В документе «План выпуска изделия» с префиксом И в дереве состава изделия по ссылкам отыскиваются корректируемые спецификации и присваивается новое значение количеству корректируемых деталей, сборок, указанное в корректировке плана выпуска. После этого откорректированный документ «План выпуска изделия» автоматически переводится в состояние «Утвержден», а в таблицах базы данных, хранящих итоговые сводные данные о количестве обрабатываемых деталей в рабочих центрах, аналогично создаются корректирующие записи. Таким образом, по цепочке корректируемых документов «План выпуска изделия» (рис. 4) можно отследить, как менялся состав изделия, запускаемого в производство по плану.



Рис. 4

На основании плановых данных создается документ «Маршрутный лист» для каждой детали, сборки, в табличной части которого автоматически по данным формализованного технологического процесса заполняется последовательный перечень операций с указанием цеха и участка. В процессе изготовления детали делаются отметки в документе «Марш-

рутный лист» об исполнителе операции, времени ее начала и окончания. По мере завершения всех операций в цехе или на участке создаются записи в итоговые таблицы системы согласно документу «Маршрутный лист», уменьшающие плановые данные. Таким образом, сводные итоговые таблицы содержат актуальную информацию о плановых и фактических показателях изготовления деталей и сборок. На основании этих данных строится оперативный отчет, отражающий актуальное состояние деталей и сборок по заданному изделию – плановое количество каждой детали, количество деталей, запущенных в производство и фактически изготовленных. Если деталь в стадии изготовления, то указывается, на какой операции она находится в текущее время, в каком цехе или на каком участке. Ответственный сотрудник анализирует показатели данного отчета и управляет процессом: если по плану деталь не должна изготавливаться, то она снимается с производства и аннулируется ее маршрутный лист, а если должна, но еще не запущена в производство, то для нее создается документ «Маршрутный лист».

Предложенный метод организации цифрового управления производством реализован в виде единой системы на платформе 1С: Предприятие. Система получила название АСУ ИДиП, ее разработка ведется с 2009 г. на приборостроительном предприятии ракетно-космической отрасли НПЦ «Полюс». В настоящее время АСУ ИДиП состоит из подсистем PDM, PLM и развивается на уровне MES.

Внедрение метода организации связи между конструкторской документацией и производственным процессом значительно сокращает время управления последним, поскольку значительно уменьшается число ручных операций, повышается степень автоматизации предприятия, сокращаются ошибки, вызываемые человеческим фактором.

В дальнейшем планируется развивать систему в направлении планирования производства, нормирования трудозатрат.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Defining product lifecycle management: a journey across features, definitions, and concepts / A. Corallo et al. // *Ind. Engineering*. 2013. Vol. 2013. P. 10.
2. Kletti J. *Manufacturing execution system – MES*. Mosbach: Springer, 2007.
3. Brown J. *The Evolving Roles of ERP and PLM*. URL: <http://www.tech-clarity.com/erp-plm-evolve/1931> (дата обращения: 29.06.2016).
4. Кульга К. С. Модели и методы создания интегрированной информационной системы для автоматизации технической подготовки и управления авиационным производством // *Изв. Самар. науч. центра РАН*. 2012. Т. 14, № 4 (2). С. 437–445.
5. Казанцев М. А. Система диспетчеризации опытного и мелкосерийного производства радиоэлектронной аппаратуры // *Вестн. СибГАУ. Математика, механика, информатика*. 2013. № 4 (50). С. 27–32.
6. Research and development on key models and technology of PDM system / T. Hongtao et al. // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2015. Vol. 78. P. 1865–1878.
7. Информационная поддержка организации производства изделий радиоэлектронной аппаратуры на предприятии ОАО «НПП Радиосвязь» / Р. Г. Галеев, В. Г. Коннов, М. А. Казанцев, С. В. Ченцов // *Техника и технологии*. 2014. № 7. С. 758–766.
8. Кульга К. С. Особенности внедрения на предприятиях и методы интеграции CAD/CAM/PDM/FRP/MRP/MES/PLM- и ERP-систем // *САПР и графика*. 2008. № 3. С. 91–94.
9. Коблов Н. Н., Коломейцев А. А., Чекрыгин С. С. Контроль проведения изменений в текстовой конструкторской документации // *Контроль. Диагностика*. 2013. № 9. С. 73–77.

E. V. Akhunova, N. N. Koblov  
Tomsk Polytechnic University

## METHODS OF FLEXIBLE PRODUCTION MANAGEMENT OF THE INSTRUMENT-MAKING ENTERPRISE IN THE PLM-MES-ERP INTEGRATED ENVIRONMENT

*The article discusses the method of digital production organization based on a common information area realized in the uniform system consisting of PLM, MES, ERP subsystems. The described method of facilitating communication between the design specifications and the production process in a unified information system that enables the production circuit to respond quickly to changes in the design documentation. The automated method for adjusting the production plan of the product is presented that is associated with quantitative changes in specifications, enabling to store versions planned to be launched in the production of products compounds.*

**Production, instrument-making enterprise, design documentation, PLM, MES, ERP**

УДК 334

**С. Ф. Давидюк**

*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)*

**Е. П. Давидюк**

*Санкт-Петербургский государственный экономический университет*

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МАЛОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В РАЗВИТИИ НАУЧНОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*Содержатся результаты анализа российского малого и среднего бизнеса в инновационной сфере. Используются статистические данные первого и последнего обзоров Росстата (2003 и 2015 гг.), сравнительные обследования ОЭСР и прогнозные оценки государственных структур. Рассматриваются экономические проблемы государственного финансирования, налогообложения и административного регулирования.*

**Малый и средний бизнес в России, инновационная сфера, статистический анализ, экономическое и организационное регулирование**

Малые формы предпринимательской деятельности в сфере науки и образования получили широкое развитие в СССР в конце 80-х гг. прошлого столетия в виде центров научно-технического творчества молодежи и разнообразных профильных кооперативов, при этом они нередко выполняли вспомогательные функции для государственных научно-исследовательских организаций и высших учебных заведений. Хотя деятельность данных хозяйственных структур не всегда была прозрачной, полезной и соответствующей профилю организаций, на базе которых они функционировали, их существование помогло накопить опыт, который уже в дальнейшей практике был использован при образовании бизнес-инкубаторов и технопарков [1, с. 90–112]. Многие из них отошли впоследствии от инновационной деятельности, так как в тот период первоначального накопления капитала сферы торговли и банковских операций были экономически более привлекательны.